

TUGAS AKHIR - RC 095501

STUDI PENGUKURAN *SUCTION* PADA MORTAR DENGAN VARIASI FAS (KHUSUS UNTUK FAS 0.3 DAN 0.5) MENGGUNAKAN METODE KERTAS FILTER *WHATMAN* NO.42

ELSA NURRI ASZUZI
3113030074

Dosen Pembimbing 1
Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA
NIP. 19501011 198203 1 002

Dosen Pembimbing 2
Ridho Bayuaji, ST., MT. Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

TUGAS AKHIR - RC 095501

**STUDI PENGUKURAN *SUCTION* PADA
MORTAR DENGAN VARIASI FAS (KHUSUS
UNTUK FAS 0.3 DAN 0.5) MENGGUNAKAN
METODE KERTAS FILTER *WHATMAN* NO.42**

ELSA NURRI ASZUZI
3113030074

Dosen Pembimbing 1
Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA
NIP. 19501011 198203 1 002

Dosen Pembimbing 2
Ridho Bayuaji, ST., MT. Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - RC 095501

**STUDY MEASUREMENT OF SUCTION IN
MORTAR WITH WATER CONTENT RATIO
VARIATION (FOR WATER-CEMENT RATIO 0,3
AND 0,5) USING FILTER PAPER WHATMAN
NO.42 METHOD**

ELSA NURRI ASZUZI
3113030074

Advisor Lecture 1
Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA
NIP. 19501011 198203 1 002

Advisor Lecture 2
Ridho Bayuaji, ST., MT. Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty Of Civil Engineering And Planning
Institute Technology Of Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

**STUDI PENGUKURAN *SUCTION* PADA MORTAR
DENGAN VARIASI FAS (KHUSUS UNTUK FAS 0.3 DAN
0.5) MENGGUNAKAN METODE KERTAS FILTER
WHATMAN No.42**

TUGAS AKHIR TERAPAN

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada

Program Studi Diploma Tiga Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :



ELSA NURRNASZUZI

Nrp. 3113030074

Disetujui Oleh :

PEMBIMBING I

PEMBIMBING II

22 JUL 2016

 
Prof. Dr. Ir. INDARTO, DEA RIDHO BAYUAJI, ST., MT., Ph.D
NIP. 19501011 198203 1 002 NIP. 19730710 199802 1 002

**STUDI PENGUKURAN *SUCTION* PADA MORTAR
DENGAN VARIASI FAS (KHUSUS UNTUK FAS 0.3 DAN
0.5) MENGGUNAKAN METODE KERTAS FILTER
WHATMAN No.42**

Nama	: Elsa Nurri Aszuzi
NRP	: 3113030074
Dosen Pembimbing I	: Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA
NIP.	: 19501011 198203 1 002
Dosen Pembimbing II	: Ridho Bayuaji, ST., MT., Ph. D
NIP.	: 19730710 199802 1 002

ABSTRAK

Beton merupakan material utama yang banyak digunakan pada bangunan. Dalam pembuatannya beton memerlukan air sebagai pengikat agregat sehingga tidak dapat dipungkiri bahwa beton mempunyai kadar pori, sehingga dalam hal ini beton juga dapat diteliti daya hisap atau *suction* terhadap air. Banyak metode yang dapat digunakan untuk mengukur daya hisap atau *suction*. Metode yang paling mudah dilakukan adalah metode pengukuran *suction* menggunakan kertas filter, dikarenakan metode yang lain terbatas dalam pembacaan ukuran rentang hisapan serta kepekaan terhadap kelembaman, yang kemudian Fawcett dan Collis George (1967) menyederhanakan penggunaan kertas filter dengan menggunakan kertas filter *Whatman* no.42.

Benda uji yang digunakan berupa mortar dengan fas 0.3 dan fas 0.5 dikarenakan penelitian *suction* sebelumnya menggunakan benda uji fas 0.4 namun berupa pasta dan pasta *foam*. Benda uji berupa mortar dengan fas 0.3 dan 0.5 dilakukan pengujian *suction*, porositas, UPV dan kuat tekan. Kemudian mengkorelasikan hasil seluruh pengujian tersebut. Dari hasil pengujian mortar fas 0.5 mempunyai nilai rata-rata *suction* 4.54; porositas 13%; UPV 3.28 km/s; kuat tekan 32.60 Mpa, sedangkan pada mortar fas 0.3 mempunyai nilai rata-rata *suction* 3.94; porositas 25%; UPV 2.46 km/s; kuat tekan 17 Mpa. Nilai *suction*

dipengaruhi oleh kadar air sehingga semakin besar kadar air semakin kecil nilai suction hal ini dikarenakan keberadaan rongga udara pada mortar.

Kata kunci : kertas filter whatman no.42, mortar, suction.

**STUDY MEASUREMENT OF SUCTION IN MORTAR
WITH WATER-CEMENT RATIO VARIATION (FOR
WATER-CEMENT RATIO 0.3 AND 0.5) USING FILTER
PAPER WHATMAN NO.42 METHOD**

Student College Name : Elsa Nurri Aszuzi
NRP : 3113030074
Dosen Pembimbing I : Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA
NIP. : 19501011 198203 1 002
Dosen Pembimbing II : Ridho Bayuaji, ST., MT., Ph. D
NIP. : 19730710 199802 1 002

ABSTRACT

Concrete is the main material which used in most buildings. In the proses of concrete making needs water as bonding to the agregat so it can't be denied concrete has pore rate, therefore in this case conducting a research in suction can be done. There are methods to suction measurement. The easiest method to conduct in suction measurement is with using filter paper, because other methods are limited in the size range of suction readings and sensitivity to inertia, that later Fawcet and Collis George (1967) simplified this method using filter paper Whatman no.42.

Test specimen used in the form of mortar with fas fas 0.3 and 0.5 due to suction previous studies using 0.4 fas test objects but in the form of pasta and pasta foam. The specimens was tested in suction test, porosity test, UPV test and compressive strength test. From the result we can conclude that mortar with fas 0.5 has average value in suction 4.54; porisity 13%; UPV 3.28 km/s; compressive strength 32.60 Mpa, while to mortar with fas 0.3 has average value in suction 3.94; porosity 25%; UPV 2.46 km/s; compressive strength 17 Mpa. Suction value was affected by water content so that the more water added in the smaller suction value, this because the existence of pores in mortar.

Keyword : filter paper whatman no.42, mortar, suction.

**LEMBAR PERNYATAAN
PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMU
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini saya:

Nama : ELSA NURRI ASUZI
Nrp : 3113030074
Jurusan / Fak. : DIPLOMA III TEKNIK SIPIL/FTSP
Alamat Kontak :
a. Email : elsanuri123@gmail.com
b. Telp/HP : 081905888229

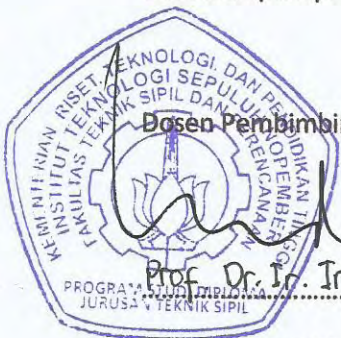
Menyatakan bahwa semua yang saya *upload* di Digital Library ITS merupakan hasil final (revisi terakhir) dari karya ilmiah saya yang sudah disahkan oleh dosen penguji. Apabila dikemudian hari ditemukan ada ketidaksesuaian dengan kenyataan, maka saya bersedia menerima sanksi.

Demi perkembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (Non-Exclusif Royalti Free Right)** kepada Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya atas karya ilmiah saya yang berjudul:

STUDI PENGUKURAN SUCTION PADA MORTAR DENGAN VARIASI PAS C KHUSUS UNTUK
FAS 0,3 DAN 0,5) MENGGUNAKAN METODE KERTAS FILTER WHATMAN NO. 42

Dengan Hal Bebas Royalti Non-Eksklusif ini, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data lain untuk kepentingan akademis tanpa meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini tanpa melibatkan pihak Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.



Dosen Pembimbing 1

Dosen pembimbing 2

Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA

Ridho Bayuaji, ST., MT., Ph.D

Dibuat di : Surabaya

Pada tanggal :

Yang menyatakan,

Elsa Nurri Asuzi

NIP. 19501011 198203 1 002 NIP. 19730710 199802 1 002 Nrp 3113030074

KETERANGAN:

Tanda tangan pembimbing wajib dibubuhi stempel jurusan.

Form dicetak dan diserahkan ke bagian Pengadaan saat mengumpulkan hard copy TA/Tesis/Disertasi

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas segala rahmat dan kruniaNya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Penyusunan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada Program Diploma III Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITS.

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini penulis dibantu oleh beberapa pihak yang sangat berjasa hingga terselesainya laporan ini. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penyusunan laporan tugas akhir ini kepada :

1. Kedua orang tua yang memberikan bantuan baik moral maupun materil.
2. Bapak Prof. Ir. Indarto, DEA dan Bapak Ridho Bayuaji, ST., MT., Ph.D selaku Dosen Pembimbing.
3. Bapak Machsus, ST., MT. selaku Koordinator Program Studi Diploma III Teknik Sipil FTSP ITS.
4. Bapak Ir. Sukobar, MT. selaku Dosen Wali penulis.
5. Pihak Laboratorium Uji Material dan Laboratorium Jalan Diploma Teknik Sipil FTSP ITS.
6. Teman-teman Diploma Teknik Sipil yang telah membantu dan memberi semangat penulis.

Penulis sadari sepenuhnya bahwa masih terdapat kekurangan dalam laporan tugas akhir ini, oleh karena itu penulis dengan senang hati menerima kritik dan saran yang membangun bagi perbaikan di masa yang akan datang. Semoga laporan ini bermanfaat bagi penelitian selanjutnya

Surabaya, Juni 2016

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR GRAFIK	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR DIAGRAM	xv
BAB I	1
Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat.....	3
BAB II	5
Tinjauan Pustaka	5
2.1 MORTAR.....	5
2.2.1 Pasir	6
2.2.2 Semen Portland (PC)	7
2.2.3 Air	8
2.2 Faktor Air-Semen	8
2.3 Tegangan Pori Negatif (<i>Suction</i>)	9
2.4.1 Pengertian Tegangan Pori Negatif.....	9

2.4.2	<i>Osmotic Suction</i>	11
2.4.3	Matric Suction	12
2.4.4	Total <i>Suction</i>	14
2.4.5	Metode Pengukuran <i>Suction</i>	16
2.4.5.1	Metode Pembebanan	16
2.4.5.2	Metode Pengukuran.....	17
2.5	Karakteristik Kertas <i>Whatman</i> No. 42.....	20
2.6	Tes Porositas.....	20
2.7	Tes UPV	21
2.8	Tes Kuat Tekan.....	21
2.9	Peneliti Pendahulu	22
BAB III.....		23
Metodologi		23
3.1	Uraian Umum	23
3.2	Bahan dan Material Benda Uji	24
3.2.1	Bahan Tambahan yang Diperlukan	24
3.2.2	Material Benda Uji	24
3.2.1.1	Semen Portland (PC)	24
3.2.1.2	Air.....	25
3.2.1.3	Agregat Halus.....	25
3.3	Pengujian Material.....	25
3.3.2.1	Mencari Waktu Konsistensi Benda Uji	27
3.3.2.2	Mencari Waktu Konsistensi Kertas Filter	28
3.3.2.3	Pengukuran <i>Suction</i>	28
3.3.2.4	Cara Menentukan Nilai <i>Suction</i>	29
3.3.3	Tes Porositas dengan Metode Rilem CPC 11.3...30	

3.3.4	Tes UPV (ASTM C 597-02).....	31
3.3.5	Tes Kuat Tekan (SNI 03-6825-2002).....	31
3.4	Analisa Data	32
BAB IV		37
Hasil dan Pembahasan.....		37
4.1	Umum	37
4.2	Hasil Pengujian.....	37
4.2.1.1	Benda Uji Fas 0.5	37
4.2.1.2	Benda Uji FAS 0.3	39
4.2.2	Waktu Konsistensi Kertas Filter	41
4.2.2.1	Benda Uji fas 0.5	41
4.2.2.2	Benda Uji FAS 0.3	43
4.2.3	Tegangan Air Pori Negatif/ <i>Suction</i> (Hisapan).....	45
4.2.3.1	Benda Uji fas 0.5	45
4.2.3.2	Benda Uji FAS 0.3	48
4.2.4	Hasil Pengujian Porositas	52
4.2.5	Hasil Pengujian <i>UPV</i>	54
4.2.6	Hasil Pengujian Kuat Tekan	56
4.2.7	Korelasi Hubungan Antara <i>Suction</i> , Porositas, UPV, dan Kuat Tekan.....	58
4.3	Evaluasi	65
BAB V		66
Kesimpulan dan Saran.....		66
5.1	Kesimpulan.....	66
5.2	Saran.....	67
Daftar Pustaka		68

Lampiran 70

DAFTAR GRAFIK

Grafik 2.1 Hubungan Derajat Kejenuhan dengan Suction	14
Grafik 2.2 Pengukuran Matric Suction dan Total Suction	16
Grafik 2.3 Kalibrasi Kertas Filter <i>Whatman</i> no.42 dari Bebebrapa Penelitian	19
Grafik 4.1 Hubungan (W_c) Benda Uji Terhadap Kadar Air fas 0.5 dengan Waktu	39
Grafik 4.2 Hubungan (W_c) Benda Uji fas 0.3 dengan Waktu	41
Grafik 4.3 Hubungan Kertas Filter dengan Benda Uji fas 0.5 dan Waktu	43
Grafik 4.4 Hubungan Kertas Filter dengan Benda Uji fas 0.3 dan Waktu	45
Grafik 4.5 Kalibrasi Kertas Filter <i>Whatman</i> no 42 pada Mortar fas 0.5	48
Grafik 4.6 Kalibrasi Kertas Filter <i>Whatman</i> no 42 pada Mortar fas 0.3	51
Grafik 4.7 Kalibrasi Kertas Filter <i>Whatman</i> no.42 pada Mortar Fas 0.3 dan 0.5	52
Grafik 4.8 Hubungan Kadar Pori dengan Kadar Air Mortar fas 0.5	59
Grafik 4.9 Hubungan Kadar Pori dengan pF Suction Mortar fas 0.5	60
Grafik 4.10 Hubungan Kadar Pori dengan Cepat Rambat Gelombang pada Mortar fas 0.5	60
Grafik 4.11 Hubungan Cepat Rambat dengan Kadar Air Mortar fas 0.5	61
Grafik 4.12 Hubungan Cepat Rambat Gelombang dengan Kuat Tekan Mortar fas 0.5	61
Grafik 4.13 Hubungan Kadar Pori dengan Kadar Air Mortar fas 0.3	62
Grafik 4.14 Hubungan Kadar Pori dengan pF <i>Suction</i> Mortar fas 0.3	63
Grafik 4.15 Hubungan Kadar Porositas dan Cepat Rambat Gelombang pada Mortar fas 0.3	63

Grafik 4.16 Hubungan Cepat Rambat Gelombang dengan Kadar Air Mortar fas 0.3	64
Grafik 4.17 Hubungan Cepat Rambat Gelombang dengan Kuat Tekan pada Mortar fas 0.3.....	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Unsur-unsur Pembuat Beton.....	5
Gambar 2.2 Geometri Kenaikan Meniskus pada pipa kapiler	10
Gambar 2.3 Skema Terjadinya Osmotic Suction	12
Gambar 2.4 Skema Air dan Udara dalam Tanah	13
Gambar 2.5 Pengukuran Total Suction (nonkontak)	15
Gambar 3.1 Kertas Filter Whatman no.42	24
Gambar 3.2 <i>Flow Chart</i> Penelitian.....	35

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Rentang Besar Tegangan Pori Negatif untuk Setiap Metode atau Alat	17
Tabel 4.1 Konsistensi Benda Uji fas 0.5	38
Tabel 4.2 Konsistensi Benda Uji fas 0.3	40
Tabel 4.3 Konsistensi Kertas Filter dengan Benda Uji fas 0.5	42
Tabel 4.4 Konsistensi Kertas Filter dengan Benda Uji fas 0.3	44
Tabel 4.5 Hasil Pengukuran Suction pada Benda Uji fas 0.5	46
Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Suction pada Benda Uji fas 0.3	49
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Porositas pada Mortar fas 0.5	53
Tabel 4.8 Hasil Pengujian Porositas pada Mortar fas 0.3	53
Tabel 4.9 Hasil Pembacaan UPV pada Mortar fas 0.5	55
Tabel 4.10 Hasil Pembacaan UPV pada Mortar fas 0.3	55
Tabel 4.11 Hasil Pengujian Kuat Tekan pada Mortar fas 0.5	57
Tabel 4.12 Hasil Pengujian Kuat Tekan pada Mortar fas 0.3	57
Tabel 4.13 Data Rangkaian Pengujian pada Mortar fas 0.5	59
Tabel 4.14 Data Rangkaian Pengujian pada Mortar fas 0.3	62

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR DIAGRAM

Diagram 4. 1 Nilai Porositas	54
Diagram 4. 2 Pembacaan UPV pada Setiap Fas.....	56
Diagram 4. 3 Hasil Kuat Tekan pada Setiap Fas.....	58

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Perkembangan kebutuhan manusia dalam segala aspek kehidupan sangat pesat. Sehingga berdampak juga pada pesatnya proyek konstruksi di Indonesia. Beton merupakan material utama yang digunakan pada setiap bangunan konstruksi, sehingga penggunaan beton semakin meningkat dan penelitian tentang beton sangat diperlukan untuk meningkatkan kualitas beton. Tegangan air pori negative pertama kali digunakan dalam bidang pertanian dan kemudian di ikuti oleh mekanika tanah dengan *unsolidated soil* (M. Jihad., 2014). Beton merupakan material berpori sehingga dapat terjadi kenaikan kapiler atau disebut *suction*.

Banyak metode yang dapat dilakukan untuk mengukur *suction*. Beberapa metode yang digunakan dalam mengukur *suction* antara lain *psychrometer*, *pore fluidsqueezing*, *suction probe*, *tensiometer*, kertas filter, *RH Sensor* dan masih banyak lagi. Akan tetapi, dari seluruh metode tersebut yang paling mudah adalah metode pengukuran *suction* menggunakan kertas filter dikarenakan metode yang lain terbatas dalam pembacaan ukuran rentang hisapan serta kepekaan terhadap kelembaman, dengan memanfaatkan hubungan *water content* dan *suction* (Indarto, 2012). yang kemudian Fawcett dan Collis George (1967) menyederhanakan penggunaan kertas filter dengan menggunakan kertas filter *Whatman* no.42. Pengukuran ini bertujuan mencari seberapa jauh hisapan air yang terjadi pada beton.

Penelitian pengukuran *suction* pada beton pernah dilakukan oleh Mochamad Jihad (2014). Pada penelitian tersebut digunakan benda uji berupa pasta semen dan pasta semen *foam* dengan FAS 0.4. Dalam terminologi ASTM C 125-00a beton didefinisikan sebagai material komposit yang terdiri dari media pengikat dan agregat. Berdasarkan definisi tersebut perlu

dilaksanakan penelitian berupa studi pengukuran *suction* dengan komposisi material yang memenuhi definisi dari terminologi ASTM C 125-00a. Sehingga dilaksanakanlah penelitian ini dengan menggunakan benda uji berupa mortar dengan fas 0.3 dan fas 0.5 dikarenakan penelitian *suction* sebelumnya menggunakan benda uji fas 0.4 namun berupa pasta dan pasta *foam*. Serta kertas filter yang digunakan berupa kertas filter *whatman* no.42.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana hasil pengukuran *suction* dengan menggunakan metode kertas filter *whatman* no.42 pada mortar dengan nilai FAS 0.3 dan 0.5.
2. Bagaimana hubungan korelasi hasil pengukuran *suction* menggunakan metode kertas filter *whatman* No.42 dengan hasil tes kuat tekan, tes porositas dan tes upv untuk mengetahui karakter mortar pada bangunan serta pengaruhnya.

1.3 Tujuan

1. Mengetahui hasil pengukuran *suction* menggunakan metode kertas filter *whatman* no. 42 pada mortar dengan nilai FAS 0.3 dan 0.5.
2. Mengetahui hubungan korelasi hasil pengukuran *suction* menggunakan metode kertas filter *whatman* No.42 dengan hasil tes kuat tekan, tes porositas dan tes upv.

1.4 Batasan Masalah

1. Benda uji yang digunakan berupa mortar dengan fas 0.3 dan fas 0.5.
2. Benda uji yang dibuat sebanyak 168 buah benda uji mortar, dengan rincian sebagai berikut : untuk konsistensi benda uji mortar dibutuhkan 16 buah untuk fas 0.3 dan 16 buah untuk fas 0.5; untuk konsistensi kertas filter dibutuhkan 32 buah untuk fas 0.3 dan 32 buah untuk fas 0.5; untuk pengujian

suction dibutuhkan 38 buah untuk fas 0.3 dan 34 buah untuk fas 0.5; kemudian 8 buah setiap fas dari pengujian *suction* dipakai kembali untuk sampel pengujian porositas, UPV dan kuat tekan.

3. Pengujian yang dilakukan pada benda uji adalah pengujian *suction*, tes kuat tekan mengacu pada SNI 03-6825-2002, tes porositas mengacu pada RILEM CPC 11.3 dan tes *upv* mengacu pada ASTM C597-02.
4. Metode pengukuran *suction* yang digunakan adalah metode kertas filter *whatman* no.42.

I.5 Manfaat

Diharapkan dapat memberi manfaat bagi pekerjaan sipil untuk mengetahui karakter *suction* pada beton untuk merencanakan bangunan yang terendam air dengan baik.

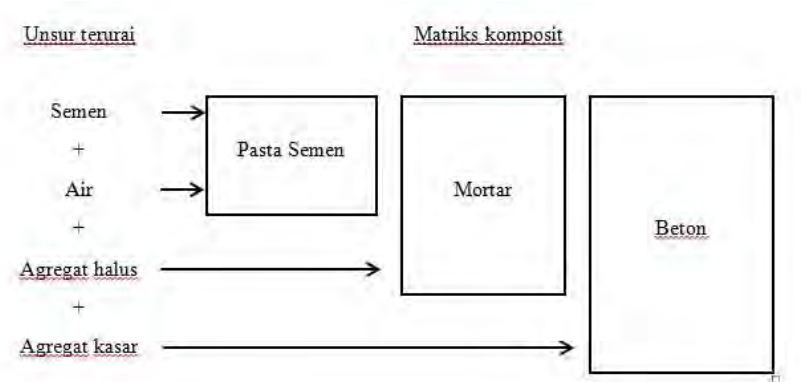
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

Tinjauan Pustaka

2.1 MORTAR

Menurut Pedoman Beton 1989, *Draft Konsensus* (SKBI.1.4.53, 1989:4-5) beton didefinisikan sebagai campuran semen Portland atau sembarang semen hidrolik yang lain, agregat kasar, agregat halus dan air dengan atau tanpa bahan tambahan. Proses awal terjadinya beton adalah pasta semen yaitu proses hidrasi antara semen dan air, selanjutnya jika ditambahkan dengan agregat halus menjadi mortar dan jika ditambah dengan agregat kasar menjadi beton (Paul Nugraha dan Antoni 2007).



Gambar 2.1 Unsur-unsur Pembuat Beton

*Sumber :Teknologi Beton dari Material, Pembuatan ke Beton
Kinerja Tinggi (Paul Nugraha dan Antoni 2007)*

Pada dasarnya beton merupakan material komposit yang terdiri dari media yang mengikat partikel atau fragmen agregat, pada beton semen hidrolik, pengikat terbentuk dari semen hidrolik dan air (ASTM C125-00a). Secara sederhana beton terdiri dari bahan pengikat dan agregat, dimana bahan pengikat terdiri dari air dan semen sedangkan bahan pengisi berupa

fragmen agregat. Dalam terminologi ASTM C 125-00a fragmen agregat didefinisikan sebagai bahan granular seperti pasir, kerikil, batu pecah atau besi *blast furnace slag*, yang digunakan dengan penyemenan sebuah media untuk membentuk beton hidrolik semen atau mortar. Sedangkan agregat kasar merupakan agregat yang didominasi dengan partikel yang tertahan pada saringan 4.75 mm.

Berdasarkan definisi beton menurut ASTM C125-00a yang telah diuraikan diatas dapat disimpulkan bahwa mortar dapat disebut sebagai beton. Penyebutan mortar sebagai beton dikarenakan material penyusun mortar berupa semen, air dan agregat halus (pasir). Dimana susunan material tersebut sama dengan susunan material beton menurut terminologi ASTM C 125-00a yaitu bahan pengikat dan fragmen agregat.

2.2.1 Pasir

Pasir yang digunakan untuk pembuatan mortar dalam penelitian ini adalah pasir lokal yang mudah didapatkan pada disekitar lokasi penelitian. Bahan pasir hanya diuji fisik saja yang pengujiannya dilakukan di Laboratorium Uji Material Diploma Teknik Sipil FTSP-ITS.

Sehubungan dengan penggunaan mortar sebagai benda uji. Maka agregat halus yang digunakan disesuaikan dengan persyaratan SNI 03-6820-2002 sebagai berikut,

1. Bentuk dan Ukuran

Bentuk dan ukuran agregat harus memenuhi :

- agregat halus alami hasil disintegrasi batu alam;
- agregat halus hasil olahan diproses khusus sehingga bentuk dan ukuran sesuai dengan persyaratan ayat 2.1.3;
- agregat yang berbutir bulat dan berukuran seragam tidak boleh digunakan;

2. Unsur Perusak

Unsur perusak yang terkandung dalam agregat hams dibatasi sebagai berikut :

- partikel yang mudah pecah maksimum 1,0%;
- tidak mengandung zat organik;
- partikel ringan yang terapung pada cairan dengan berat jenis 2,0 maksimum 0,5 %;
- kadar lumur maksimum 5%;
- bebas dari kotoran yang (dapat merusak warna);

2.2.2 Semen Portland (PC)

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen portland jenis PCC dari PT. Semen Gresik. Digunakan semen jenis PCC karena semen ini banyak dijual ditoko bahan bangunan.

Dalam SNI 15-2049-2004 semen portland didenisikan sebagai semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland, terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain. Menurut jenis dan penggunaannya semen portland diklasifikasikan menjadi lima jenis yang terdiri dari,

- Jenis I. yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
- Jenis II. yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
- Jenis III. semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.

Jenis IV. yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.

Jenis V. yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat

2.2.3 Air

Air harus selalu ada di dalam beton cair, tidak saja untuk hidrasi semen, tetapi juga untuk mengubahnya menjadi suatu pasta sehingga betonnya lecah (*workable*). Jumlah air yang dibutuhkan untuk kelecakan tergantung pada sifat material yang digunakan (Paul Nugraha dan Antoni 2007). Berikut faktor-faktor yang mempengaruhi jumlah air yang diperlukan.

- a. Ukuran agregat maksimum: diameter membesar kebutuhan air menurun (begitu pula jumlah mortar yang dibutuhkan menjadi lebih sedikit)
- b. Bentuk butir: bentuk bulat kebutuhan air menurun.
- c. Gradasi agregat: gradasi baik kebutuhan air menurun untuk kelecakan yang sama.
- d. Kotoran dalam agregat: makin banyak slit, tanah liat dan lumpur kebutuhan air meningkat.
- e. Jumlah agregat halus (dibandingkan agregat kasar): agregat halus lebih sedikit kebutuhan air menurun.

2.2 Faktor Air-Semen

Faktor air-semen (FAS) merupakan rasio antara jumlah air dan semen yang digunakan. Secara umum diketahui bahwa semakin tinggi nilai FAS, semakin rendah mutu kekuatan beton. Namun demikian, nilai FAS yang terlalu rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi. Ada batas-batas dalam hal ini. Nilai FAS yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan

pemadatan yang pada akhirnya menyebabkan mutu beton menurun (Tri Mulyono 2004).

2.3 Tegangan Pori Negatif (*Suction*)

2.4.1 Pengertian Tegangan Pori Negatif

Efek permukaan yang umumnya sudah tidak asing lagi ialah naiknya zat cair didalam pipa terbuka yang penampangnya sangat kecil. Efek semacam ini disebut dengan kapilaritas atau *suction*. Bila suatu zat cair membasahi pipa itu, sudut kontakanya kurang dari 90^0 dan zat cair itu naik sampai tinggi kesetimbangan h , seperti gambar 2.2. Permukaan melengkung zat cair didalam pipa disebut dengan *meniskus* (Francis Westos Sears dan Mark W. Zemansky 1969)

Kalau radius pipa itu r , zat cair menyinggungnya pada suatu garis yang panjangnya $2\pi r$. Bila kita isolir zat cair berbentuk silinder itu setinggi h serta radiusnya r , termasuk selaput zat cair-gasnya, maka gaya total keatas ialah :

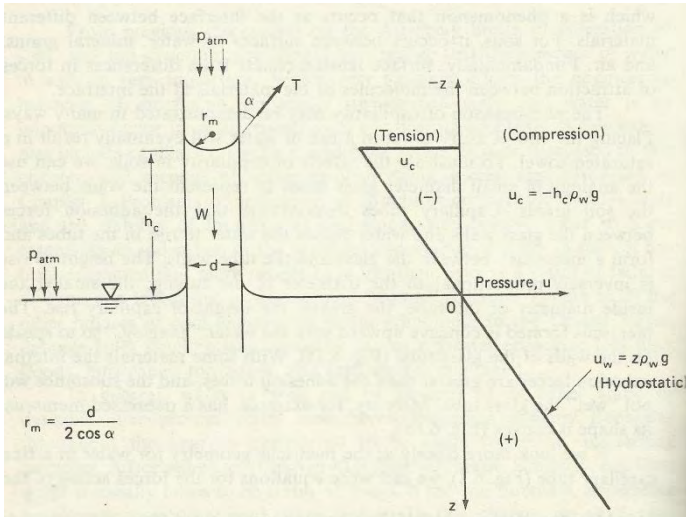
$$F = 2\pi r T_s \cos \alpha \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana

T_s = tegangan permukaan

Gaya ke bawah tidak lain ialah berat silinder w yang sama besarnya berat jenis air γ_w kali volumenya $\pi r^2 h$.

$$w = \gamma_w \pi r^2 h \dots\dots\dots (2.2)$$



Gambar 2.2 Geometri Kenaikan Meniskus pada pipa kapiler
 Sumber : *An Introduction to Geotechnical Engineering* (Robert D. Holtz dan William D. Kovacs 1981)

Karena silinder dalam keadaan setimbang maka dengan memasukkan persamaan (1) ke (2) didapat tinggi kenaikan air dalam pipa kapiler sebesar,

$$h = \frac{2T_s \cos \alpha}{\gamma_w r} \dots \dots \dots (2.3)$$

Persamaan (3) dikenal sebagai hukum dari Juri (Indarto 2012).

Dalam keseimbangan, bila U_w adalah tegangan air dari meniscus pada ketinggian h , yang ditentukan dari persamaan (3), dan berat air dalam pipa kapiler adalah sama dengan $Ah\gamma_w$, A adalah luas pipa kapiler, pada ketiadaan tegangan atmosfer, terdapat hubungan,

$$U_w + h\gamma_w = 0$$

$$U_w = -h\gamma_w \dots \dots \dots (2.4)$$

yang berarti terdapat tegangan tarik sepanjang pipa kapiler.

Tekanan didalam kolom zat cair, pada ketinggian permukaan datar zat cair pada gambar 2.2 , juga merupakan tekanan atmosfer. Maka tekanan didalam kolom pada tinggi h ialah,

$$U = U_a - U_w \dots \dots \dots (2.5)$$

dimana U merupakan perbedaan tekanan antara fase gas dan cair. Dalam hukum Laplace hubungan antara jari-jari kelengkungan dari meniskus dan perbedaan tekanan antara fase gas dan cair dapat ditulis,

$$U_a - U_w = \frac{2T_s \cos \alpha}{r} \dots \dots \dots (2.6)$$

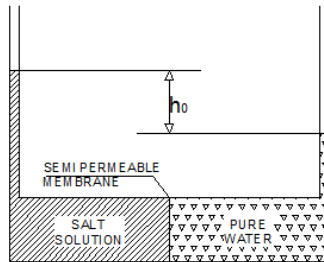
Sesuai dengan konvensi, untuk tekanan atmosfer diambil nilai nol, sehingga tekanan air menjadi negatif dan akhirnya didapatkan hubungan,

$$- U_w = \frac{2T_s \cos \alpha}{r} \dots \dots \dots (2.7)$$

$U_a - U_w$ merupakan ekspresi lain dari kapilaritas atau disebut *suction* atau tegangan pori negatif. Jadi, *suction* merupakan pengurangan tekanan pori sampai dibawah tekanan atmosfer dalam sebuah contoh tanah yang bebas dari gaya luar.

2.4.2 Osmotic Suction

Osmotic Suction dihasilkan dari gaya yang berada dalam molekul air sebagai hasil aktivitas kimia tanah (Indarto 2012). Pada Gambar 2.3 dapat dilihat skema terjadinya *osmotic suction*.



Gambar 2.3 Skema Terjadinya Osmotic Suction

Sumber : *Comportement Des Sols Soumis a Une Pression Interstitielle Negative Application Aux Silos* (Indarto 1991)

Dalam gambar tersebut, pori-pori air bersinggungan dengan solusi garam dan juga lapisan *semipermeable*. Konsentrasi solusi garam tersebut menyebabkan molekul air tertarik sehingga kecenderungannya aliran air dalam solusi garam masuk kelapisan *semipermeable*. Keseimbangan akan tercapai setelah tekanan hidrostatik dari solusi garam menjadi cukup besar dan seimbang dengan gaya *osmotic* serta membawa air ke solusi garam tersebut. Perbedaan tekanan tersebut disebut tekanan *osmotic*.

$$\Omega = \rho_s \cdot g \cdot h_0 \dots \dots \dots 2.8$$

dimana ,

- Ω = Tekanan osmotik
- ρ_s = Massa jenis solusi garam
- g = Percepatan gravitasi
- h_0 = Tinggi tekanan osmotik

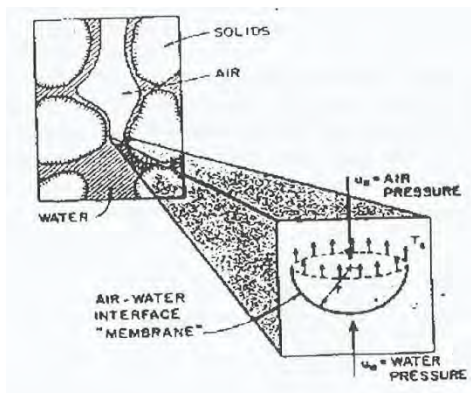
2.4.3 Matric Suction

Tinggi dari kolom air yang berada didalam tanah akan menjadi *unsaturated*, hal ini disebabkan oleh ukuran butiran dan perbedaan tekanan antara tekanan udara dan tekanan air dalam

sutau material. Tinggi batas kolom air sangat tergantung dari dasar kolom udara. Fredlund (1979) berpendapat bahwa jarak antara air dan udara dapat ditunjukkan dengan merekayasa jarak tersebut menjadi anggapan seperti sebuah membran yang mewakili sebuah perbedaan fase dalam suatu material. Keseimbangan tekanan dalam membran ditunjukkan dengan persamaan berikut,

$$U_a - U_w = \frac{2T_s}{r} \dots\dots\dots 2.9$$

Gaya untuk menyerap molekul air dihasilkan oleh lapisan luar partikel-partikel butiran tanah. Gaya penyerapan dihitung berdasarkan kurva dari lapisan tipis air dan permukaan butiran tanah yang bersinggungan. (lihat gambar 2.4)



Gambar 2.4 Skema Air dan Udara dalam Tanah

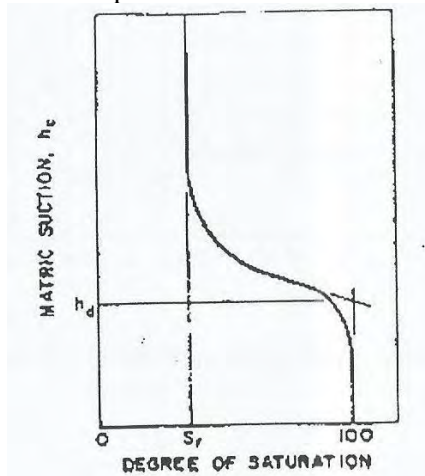
Sumber : Comportement Des Sols Soumis a Une Pression

Interstitielle Negative Application Aux Silos (Indarto 1991)

Dalam Gambar 2.4 kolom air ditunjukkan berupa celah yang sempit antar partikel tanah. Jika beda tekanan air dan tekanan udara membesar dimana tekanan permukaan yang

dihasilkan oleh air dan udara tetap, maka molekul air terdorong menuju ke celah antara partikel tanah yang sempit.

Jika tekanan udara meningkat atau tekanan air menurun dalam suatu material, maka air akan masuk ke celah-celah yang lebih kecil dan mendorong terjadinya *matric suction*. Hubungan antara *matric suction* dengan derajat kejenuhan adalah semakin besar *matric suction* maka derajat kejenuhan suatu material akan menjadi lebih kecil. Hubungan antara *matric suction* dan derajat kejenuhan dapat dilihat pada Grafik 2.1.



Grafik 2.1 Hubungan Derajat Kejenuhan dengan Suction
 Sumber : *Comportement Des Sols Soumis a Une Pression Interstitielle Negative Application Aux Silos* (Indarto 1991)

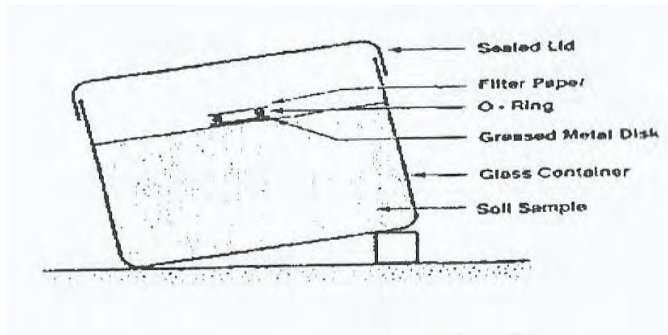
Tentu saja hal ini tergantung pada pori-pori dan ukuran butiran material. Peningkatan *matric suction* akan menyebabkan tanah menjadi *unsaturated*.

2.4.4 Total Suction

Total *Suction* merupakan fungsi penjumlahan dari *osmotic suction* dan *matric suction* suatu material. Dalam berbagai macam aplikasi rekayasa geoteknik biasanya besar gaya

osmotik yang terdapat dalam air dianggap konstan. Konsekuensi dari hal ini, perubahan *osmotic suction* dianggap tidak terjadi, dengan tidak terjadinya perubahan *osmotic suction* maka perubahan *suction* yang terjadi hanya dipengaruhi oleh *matric suction* (Krahn dan Fredlund, 1972).

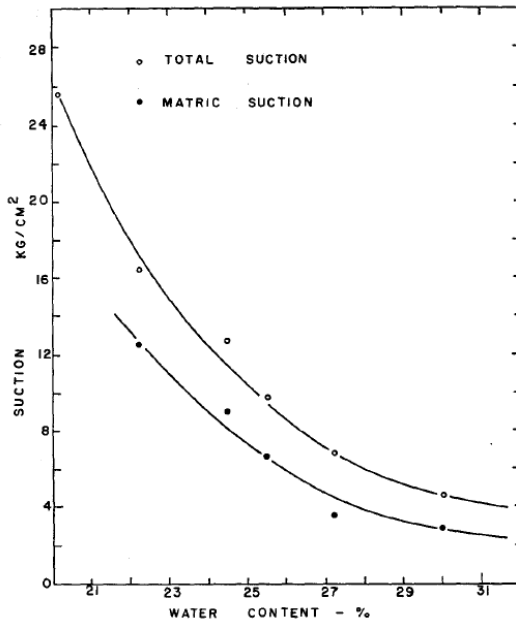
Walaupun begitu dalam berbagai penelitian seperti yang dilakukan oleh William Houston dan kawan-kawan, besarnya total *suction* dapat ditentukan melalui suatu percobaan yang dikenal dengan percobaan non kontak. Yang artinya kertas filter tidak langsung berhubungan dengan tanah dan untuk mengukur *suction* kertas filter hanya mengandalkan penguapan seperti Gambar.



Gambar 2.5 Pengukuran Total Suction (nonkontak)

Sumber : *Comportement Des Sols Soumis a Une Pression Interstitielle Negative Application Aux Silos* (Indarto 1991)

Metode ini mempunyai batasan bahwa kertas filter hanya bisa mengukur *suction* diatas 4,5 pF oleh karena itu dalam berbagai aplikasi, para peneliti menganggap lebih penting mengetahui nilai *matric suction* dari pada total *suction*.



Grafik 2.2 Pengukuran Matric Suction dan Total Suction
 Sumber : J. Krahn dan D. G. Fredlund

2.4.5 Metode Pengukuran *Suction*

Menurut Indarto 1991 pengukuran *Suction* terdapat dua metode :

2.4.5.1 Metode Pembebanan

Metode pembebanan adalah pengukuran hisapan dengan pemberian hisapan atau tegangan pori negatif tertentu yang dikehendaki terhadap suatu benda uji dengan kondisi inisial jenuh atau kering sama sekali. Yang mana selama pemberian hisapan tersebut benda uji mengalami perubahan fisik samapai mencapai pada suatu kestabilan yang sesuai dengan tegangan air pori negatif yang diberikan. Macam-macam peralatan yang digunakan dalam metode pembebanan adalah *tensiometric plate*, *membrane*

air pressure, osmotic, pembebanan dengan menggunakan garam jenuh dalam *dessicator*.

Penggunaan setiap alat dibatasi oleh besarnya pembebanan *suction* yang diberikan kepada benda uji. Tabel 2.1 memberikan rentang *suction* atau tegangan pori negatif yang dapat diberikan pada benda uji dari setiap alat atau metode yang diberikan

Tabel 2.1 Rentang Besar Tegangan Pori Negatif untuk Setiap Metode atau Alat

Metode/Alat	Rentang Tegangan Pori Negtif (kPa)
Tensiometric plate	1-30
Mebrane air pressure	30-50
Osmotic	50-1500
Garam jenuh dalam Dessicavator	1500-400000

Sumber : *Kelakuan Tanah Ekspansif serta Akibatnya pada Bangunan dan Jalan Sederhana (Indarto 2012)*

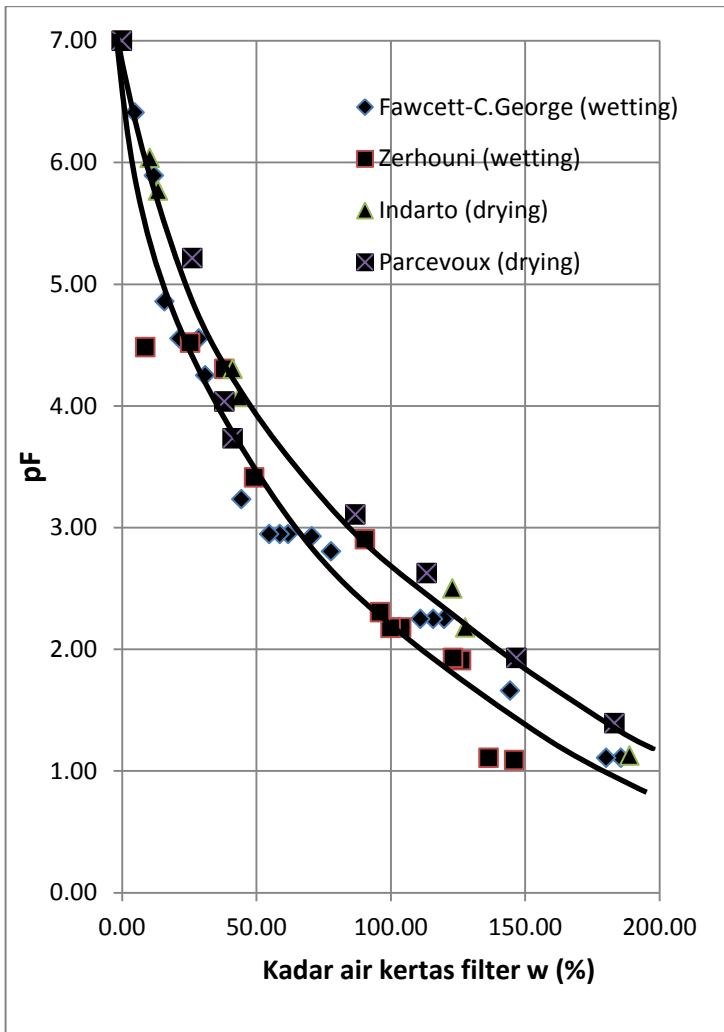
2.4.5.2 Metode Pengukuran

Metode pengukuran adalah pengukuran besarnya hisapan atau tegangan pori negatif terhadap benda uji yang memiliki hisapan atau tegangan pori negatif tertentu. Macam-macam peralatan yang digunakan dalam metode pengukuran ini adalah jarum *tensiometric*, kertas filter dan *psychrometer*. Penggunaan metode *tensionmetric* sangat terbatas, sebagaimana terlihat dalam metode pembebanan bahwa rentang tegangan pori yang dapat diukur sangat kecil kerana dibatasi oleh tekanan atmosfer. Disisi lain penggunaan *psychrometer* sangat sulit karena kepekaannya terhadap kelembaban. Dilihat dari sisi rentang dan kemudahannya maka metode kertas filter dapat dijadikan pilihan.

Metode kertas filter pertama kali diusulkan oleh Gardner (1937). Sedangkan Fawcett dan Collis George (1967), menyederhanakan penggunaan kertas filter dengan menggunakan kertas filter *whatman* no. 42.

Kalibrasi dengan metode kertas filter *whatman* no.42 ini dilakukan oleh Fawcett dan Collis George (1976) dan Zerhouni (1991) pada alur pembasahan. Sedang Parcevoux (1980) dan Indarto (1991) melakukan kalibrasi dengan kertas filter sama melalui pengeringan. Pada Grafik 2.3 adalah hasil empat kalibrasi metode kertas filter dari para peneliti.

Besarnya hisapan dari Grafik 2.3 dinyatakan dalam angka pF, sehingga bila akan dinyatakan dalam tegangan air pori negatif maka nilai tersebut harus dikonversikan kedalam kPa atau kg/cm^2 .



Grafik 2.3 Kalibrasi Kertas Filter *Whatman* no.42 dari Beberapa Penelitian

Sumber : Comportement Des Sols Soumis a Une Pression Interstitielle Negative Application Aux Silos (Indarto 1991)

2.5 Karakteristik Kertas *Whatman* No. 42

Ada beberapa macam kertas filter *whatman* seperti terlihat pada tabel dibawah ini. Dalam penelitian ini, kertas filter yang dipakai adalah kertas filter *whatman* no.42. Kemampuan kertas filter *whatman* no. 42 dalam mengukur *suction* berkisar 1,5 kPa sampai 90000 kPa.

Dengan menggunakan grafik kalibrasi kertas filter *whatman* no. 42 maka besar tegangan air pori negatif atau *suction* dapat ditentukan dengan rumus,

$$suction = 10^{(pF-1)} kPa \dots\dots\dots 2.10$$

Rumus tersebut didapat berdasarakan hubungan antara skala pF dan tekanan dimana pF = 3 sama dengan log 1000 cm kolom air, dan mempunyai tekanan sebesar 1 bar atau 1 kg/cm² atau 100 kPa.

2.6 Tes Porositas

Faktor utama yang mempengaruhi kekuatan dari material getas adalah porositas (Paul Nugraha dan Antoni 2007). Dalam RILEM CPC 11.3 Tes Porositas didefinisikan sebagai perbedaan massa antara massa spesimen yang telah direndam dibawah air setelah divakum dengan massa spesimen yang sama ketika kering, dinyatakan dalam volume kering spesimen. Untuk menentukan nilai prositas menggunakan rumus,

$$A_v = \frac{m_2 - m_1}{m_2 - m_3} \times 100 \% \dots\dots\dots 2.11$$

dimana,

A_v = nilai porositas (%)

m_1 = massa benda uji kering oven (gram)

m_2 = massa benda uji diudara setelah divakum (gram)

m_3 = massa benda uji didalam air setelah divakum (gram)

2.7 Tes UPV

Dalam ASTM C597 – 02 menjelaskan bahwa prinsip kerja dari tes *UPV* memancarkan pulsa gelombang tegangan longitudinal yang dihasilkan oleh transduser elektro-akustik yang dikontak dengan salah satu permukaan beton yang diuji. Setelah melintasi melalui beton, pulsa diterima dan diubah menjadi energi listrik oleh transduser kedua yang terletak pada jarak L dari transduser pemancar. Waktu transit T diukur secara elektronik. Kecepatan pulsa V dihitung dengan membagi L oleh T .

Untuk menghitung kecepatan pulsa digunakan rumus sebagai berikut :

$$V = \frac{L}{T} \dots \dots \dots 2.12$$

Dimana :

V = kecepatan (m/s)

L = jarak tempuh (m)

T = waktu tempuh (s)

2.8 Tes Kuat Tekan

Salah satu sifat mekanik yang digunakan sebagai parameter mortar adalah kuat tekan. Dalam SNI 03-6825-2002 mendefinisikan Kekuatan tekan mortar semen Portland adalah gaya maksimum per satuan luas yang bekerja ada benda uji mortar semen Portland berbentuk kubus dengan ukuran tertentu serta berumur tertentu. Gaya maksimum adalah gaya yang bekerja pada saat benda uji kubus pecah. Untuk perhitungan kuat tekan mortar menggunakan rumus,

$$\sigma_m = \frac{P_{maks}}{A} \dots \dots \dots 2.12$$

dimana,

σ_m = Kuat tekan mortar (MPa)

P_{maks} = Gaya tekan maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (mm^2)

2.9 Peneliti Pendahulu

Pada tahun 2014, Mochamad Jihad mahasiswa D4 Teknik Sipil FTSP ITS dengan Tugas Akhirnya berupa penelitian yang berjudul “Pengukuran *Suction* Pada Beton dengan Menggunakan Kertas Filter *Whatman* No.42 di Laboratorium”.

Peneliti mencoba mengukur *suction* pada benda uji pasta semen dan pasta semen foam dengan fas 0.4. Pada konsistensi kadar air pasta semen benda uji mengalami konstan pada hari ke lima dengan kadar air 17%, sedangkan pada pasta semen foam benda uji mengalami konstan pada hari ke empat dengan kadar air 22%. Pada bagian waktu konsistensi kertas filter di menunjukkan kadar air kertas filter pada benda uji pasta semen mengalami konstan pada hari ke dua yaitu 25%, sedangkan pada kadar air kertas filter pada benda uji pasta semen foam mengalami konstan pada hari ke dua yaitu 32%. Pengujian terakhir yaitu pengujian *suction*. Dengan kadar air yang berbeda hasil pengukuran *suction* pada pasta semen menunjukkan hasil dengan skala pF 5.67 - 4.84 (46773.51 Kpa – 6918.31 Kpa), sedangkan hasil pengukuran *suction* pada pasta semen foam menunjukkan hasil dengan skala pF 5.40 – 4.42 (25118.86 Kpa – 3311.311 Kpa).

Hasil pengukuran *suction* pada pasta semen foam lebih kecil dari pada pasta semen karena pasta semen foam memiliki rongga yang lebih besar. Semakin besar kadar air yang dikandung material maka semakin kecil *suction* nya.

BAB III

Metodologi

3.1 Uraian Umum

Dalam melakukan suatu pekerjaan, dalam hal ini penelitian, urutan pekerjaan atau metodologi sangat diperlukan agar penelitian dapat berjalan dengan baik sesuai rencana. Metodologi pada penelitian ini meliputi persiapan bahan, pengujian material secara fisik. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Uji Material Diploma Teknik Sipil ITS. Penelitian ini terbagi dalam tiga rangkaian tahapan penelitian yaitu, studi literatur, tahap persiapan dan kegiatan utama.

1. Studi literatur

Tahapan ini berupa mencari dan mempelajari beberapa literatur yang berkaitan dengan pengujian *suction* dan karakteristiknya terhadap mortar, pengujian porositas, UPV dan kuat tekan. Sumber literatur yang digunakan berupa penelitian yang pernah dilakukan, buku-buku yang berhubungan dengan serangkain pengujian serta peraturan-peraturan berkaitan prosedur pengujian.

2. Tahap persiapan

Tahapan ini berupa persiapan bahan yang dibutuhkan dan material benda uji, kemudian pengujian material.

3. Kegiatan utama dalam penelitian ini adalah membuat benda uji dan melakukan pengujian terhadap benda berupa pengujian *suction* dimana dalam pengujian *suction* terdapat rangkaian awal yaitu mencari konsistensi benda uji, kemudian dari hasil konsistensi benda uji dipakai untuk mencari waktu konsistensi kertas filter dan dilanjut pengujian *suction* itu sendiri, kemudian setelah pengujian *suction* selesai, diambil delapan sampel setiap fas untuk selanjutnya dilakukan rangkaian tes porositas, tes upv dan tes kuat tekan..

3.2 Bahan dan Material Benda Uji

Material dan bahan yang digunakan dalam penelitian disiapkan terlebih dahulu untuk memperlancar dalam proses pembuatan. Material yang dibutuhkan antara lain semen Portland type 1 dari PT. Semen Gresik dan pasir Lumajang. Sedangkan bahan yang digunakan kertas filter *whatman* no.42.

3.2.1 Bahan Tambahan yang Diperlukan

Kertas filter yang digunakan dalam penelitian ini adalah kertas filter *whatman* no.42 sebanyak 68 buah kertas filter yang telah dipotong dengan ukuran 5 cm x 5 cm.



Gambar 3.1 Kertas Filter Whatman no.42

Sumber : Data Pribadi

3.2.2 Material Benda Uji

3.2.1.1 Semen Portland (PC)

Bahan semen yang dipakai adalah semen portland type 1 dari PT. Semen Gresik yang banyak beredar di pasaran pada umumnya. Digunakan tipe 1 karena semen Portland ini tidak mempunyai persyaratan khusus seperti tipe-tipe lainnya.

3.2.1.2 Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari PDAM daerah Surabaya. Sesuai persyaratan PBI 1971, air untuk pembuatan dan perawatan beton tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, garam-garam, bahan-bahan organik atau bahan-bahan lain yang merusak beton. Apabila terdapat keraguan mengenai air, dianjurkan untuk melakukan uji kandungan agar air yang digunakan tidak mengandung bahan-bahan yang dapat merusak beton.

3.2.1.3 Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini berupa pasir Lumajang yang mudah didapat di toko-toko sekitar Surabaya. Agregat halus harus memenuhi persyaratan SNI 03-6820-2002

3.3 Pengujian Material

Untuk membuat mortar langkah awal yang dilakukan adalah pengambilan bahan baku yaitu Semen Portland (PC) dan pasir. PC yang digunakan tipe 1 berasal dari PT. Semen Gresik. Sedangkan pasir yang digunakan adalah pasir Lumajang yang banyak beredar di toko sekitar Surabaya. Serta air yang digunakan adalah air PDAM yang berada di Laboratorium Uji Material Diploma Teknik Sipil ITS.

Bahan-bahan tersebut dilakukan uji fisik. Uji fisik semen meliputi berat jenis (SNI 15-2531-1991). Uji fisik pasir meliputi kelembapan pasir (ASTM C556-89), berat jenis pasir (ASTM C128-93), air resapan pasir (ASTM C128-93), kebersihan pasir terhadap bahan organik (ASTM C40-92), test kebersihan pasir terhadap lumpur (ASTM C117-95), analisa saringan pasir (SNI 03-6820-2002). Semua pengujian fisik dilakukan di Laboratorium Uji Material Diploma Teknik Sipil ITS.

Setelah dilakukan pengujian terhadap material, dilanjutkan merencanakan komposisi campuran untuk benda uji kubus 5 cm x 5 cm x 5 cm, namun jika uji fisik material tidak memenuhi standart maka dilakukan perlakuan khusus atau mencari bahan baku lain.

3.4 Pembuatan Benda Uji

Dalam penelitian ini digunakan dua jenis benda uji berupa mortar dengan faktor air semen 0,3 dan mortar dengan faktor air semen 0,5. Benda uji dibuat dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm. Benda uji dibuat sebanyak 168 buah dengan rincian, pengukuran konsistensi benda uji 16 buah/ fas, konsistensi kertas filter 32 buah/ fas dan *suction* 34 buah untuk fas 0.5 dan 38 buah untuk fas 0.3, sedangkan untuk tes kuat tekan, tes porositas dan tes *UPV* 8 buah/ fas dengan menggunakan benda uji yang sama dengan benda uji pengukuran *suction*. Adapun langkah pembuatan benda uji sebagai berikut,

- a. Seluruh material benda uji dicampur dan diaduk sampai seluruh material menyatu.
- b. Setelah campuran mortar sudah homogeny dituang ke cetakan dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm yang bersih dan telah diberi oli.
- c. Mortar dituang pada cetakan dengan dua lapisan, dan setiap lapisan dirojok 32 kali.
- d. Diamkan campuran benda uji selama 20 jam sampai mengeras.
- e. Setelah benda uji mengeras, lepas benda uji dari cetakan dan diberi kode nama benda uji.
- f. Benda uji disimpan dan dirawat dengan cara direndam ke dalam air tawar.

3.5 Pengujian Benda Uji

3.3.2 Prosedur Rangkaian Pengujian Suction

Pada rangkaian penelitian *suction* diawali dengan mencari waktu konsistensi benda uji pada masing-masing fas, kemudian dari data tersebut dicari waktu konsistensi kertas filter yang kemudian dari dua data tersebut dipadukan untuk melakukan pengujian *suction*.

3.3.2.1 Mencari Waktu Konsistensi Benda Uji

1. Benda uji yang digunakan adalah benda uji pada umur 28 hari.
2. Benda uji dioven selama 24 jam dengan suhu $\pm 105^{\circ}\text{C}$.
3. Setelah itu benda uji diangin-anginkan, kemudian ditimbang untuk mengetahui berat kering.
4. Benda uji direndam dalam waktu yang berbeda, waktu yang digunakan adalah 1jam, 3jam, 6jam, 9jam, 12jam, 15jam, 18jam, 21jam, 24jam, 2hari, 3hari, 4hari, 5hari, 6hari, 7hari, 8hari. Masing-masing menggunakan satu benda uji.
5. Setelah mencapai waktu tertentu yang ditentukan benda uji diangkat dan dilap menggunakan tisu agar memperoleh kondisi kering permukaan, kemudian ditimbang.
6. Data yang diperoleh dihitung dengan rumus

$$W_c = \frac{(W_{SSD} - W_{dry})}{W_{dry}} \times 100 \%$$
7. Jika kadar airnya konstan, maka waktu konsistensi kertas filter telah diketahui.

3.3.2.2 Mencari Waktu Konsistensi Kertas Filter

1. Benda uji dan kertas filter *whatman* no.42 di oven 24 jam dengan suhu $\pm 105^{\circ}\text{C}$.
2. Setelah itu benda uji dan kertas filter *whatman* no.42 ditimbang untuk mengetahui berat kering.
3. Benda uji direndam hingga jenuh (sesuai dengan data sebelumnya).
4. Setelah itu benda uji diangkat dari rendaman dan di lap hingga kering permukaan.
5. Kemudian benda uji ditimbang dalam keadaan kering sempurna.
6. Jepit kertas filter *whatman* no.42 yang telah dilindungi dengan kertas filter biasa diantara dua benda uji. Lalu kedua benda uji diikat dengan karet dan dibungkus plastik agar tidak mengalami perubahan suhu sehingga kadar airnya konstan.
7. Setelah kertas filter *whatman* no.42 telah mengalami kontak dengan benda uji kemudian kertas filter *whatman* no.42 dikeluarkan dan ditimbang, waktu pembukaan adalah 1jam, 3jam, 6jam, 9jam, 12jam, 15jam, 18jam, 21jam, 24jam, 2hari, 3hari, 4hari, 5hari, 6hari, 7hari dan 8hari. Masing-masing menggunakan satu benda uji.
8. Hitung kadar air kertas filter *whatman* no.42 dan benda uji dengan menggunakan rumus

$$W_c = \frac{(W_{SSD} - W_{dry})}{W_{dry}} \times 100 \%$$
9. Jika kadar airnya konstan, maka waktu konsistensi kertas filter telah diketahui.

3.3.2.3 Pengukuran Suction

1. Benda uji dan kertas filter *whatman* no.42 di oven 24 jam dengan suhu $\pm 105^{\circ}\text{C}$.
2. Setelah itu benda uji dan kertas filter *whatman* no.42 ditimbang untuk mengetahui berat kering.

3. Benda uji diinjek air dengan kadar air sesuai pengujian konsistensi kadar air benda uji sampai dimana benda uji itu konstan.
4. Kemudian benda uji yang sudah diinjek digunakan untuk menjepit kertas filter whatman no.42 yang telah dijepit dengan kertas filter biasa, yang kemudian dibungkus dengan plastic dan diikat dengan karet agar tidak mengalami perubahan suhu.
5. Kemudian benda uji tersebut dibuka dari plastik dengan lama pembukaan sesuai data waktu konstan kertas filter, kemudian kertas filter *whatman* no.42 ditimbang.
6. Hitung kadar air kertas filter *whatman* no.42 dengan menggunakan rumus $W_c = \frac{(W_{SSD} - W_{dry})}{W_{dry}} \times 100 \%$
7. Tentukan nilai pF berdasarkan grafik kalibrasi kertas filter *whatman* no.42 dari berbagai peneliti berdasarkan kadar air kertas filter *whatman* no.42 yang diperoleh.
8. Hitung nilai *suction*-nya.

3.3.2.4 Cara Menentukan Nilai *Suction*

Dalam menentukan nilai *suction* digunakan grafik kalibrasi oleh berbagai peneliti seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Setelah mendapatkan nilai kadar air pada prosedur 3.3.2.3, tarik garis horizontal pada sumbu-x grafik kalibrasi menuju nilai kadar air yang telah didapat. Kemudian tarik garis vertikal hingga berpotongan pada kurva kalibrasi. Setelah itu, tarik garis horizontal menuju sumbu-y grafik kalibrasi hingga didapat nilai pF-nya. Setelah didapat nilai pF, hitung nilai *suction* menggunakan rumus,

$$suction = 10^{(pF-1)} kPa$$

3.3.3 Tes Porositas dengan Metode Rilem CPC 11.3

1. TUJUAN
 - Untuk mengetahui porositas yang berada dalam benda uji
2. PERALATAN
 - Timbangan
 - Oven
 - Alat Vakum
3. LANGKAH KERJA
 - Mortar yang digunakan pada pengujian suction delapan benda uji dilakukan test porositas.
 - Letakkan benda uji tersebut pada alat vakum selama 24 jam yang berfungsi untuk menghilangkan kadar udara yang terdapat dalam mortar.
 - Kemudian masukkan air ke dalam alat vakum tersebut sampai mortar terendam kira-kira 20 mm diatas benda uji dan waktu untuk pemvakuman 24 jam.
 - Setelah mengalami pemvakuman dengan air, benda uji tersebut di lap hingga kering permukaan kemudian ditimbang diudara dan ditimbang dalam air.
 - Setelah itu, benda uji dikeringkan dengan di oven 24 jam dengan suhu $\pm 105^{\circ}\text{C}$ guna untuk mengetahui berat mortar dalam keadaan kering (berat di udara) dengan timbangan.
 - Hitung hasil uji porositas dengan rumus sebagai berikut :

$$P = \frac{W_{sa} - W_d}{W_{sa} - W_{sw}} \times 100 \%$$

dimana,

P = Total porositas (%)

W_{sa} = Berat benda uji jenuh air di udara (gram)

W_{sw} = Berat benda uji jenuh air di dalam air (gram)

W_d = Berat benda uji setelah dioven dengan suhu 105^0 C selama 24 jam (gram)

3.3.4 Tes UPV (ASTM C 597-02)

Test UPV dilakukan dengan prosedur sebagai berikut :

- Benda uji yang digunakan setelah diporositas kemudian benda uji tersebut digunakan untuk pembacaan UPV.
- Tentukan kedua sisi yang bertolak belakang untuk diberi stempet atau alat pelumas kendaraan pada sisi tersebut, dan sisi *transmitter* serta *receiver* pada UPV.
- Kemudian letakkan *transmitter* dan *receiver* pada sisi benda uji yang ditentukan, dan klik start pada alat pengukur UPV untuk memulai perambatan gelombang.
- Catat hasil waktu tempuh dan cepat rambat gelombang pada UPV.
- Dari hasil pembacaan cepat rambat UPV, hitung manual cepat rambat tersebut sebagai koreksi pembacaan dengan rumus,

$$v = \frac{l}{t}$$

dimana,

v = kecepatan (m/s)

l = jarak tempuh (m)

t = waktu tempuh (s)

3.3.5 Tes Kuat Tekan (SNI 03-6825-2002)

Benda uji yang digunakan untuk test kuat tekan adalah delapan benda uji yang sama yang digunakan setelah test UPV. Tes kuat tekan dilakukan dengan prosedur sebagai berikut,

- Timbanglah kubus benda uji, lalu catat berat benda uji itu.
- Letakan benda uji pada mesin penekan. Tekanlah benda uji itu dengan penambahan besarnya gaya tetap sampai benda uji itu pecah. Pada saat pecah, catatlah besarnya gaya tekan maksimum yang bekerja.
- Setelah itu hitung kuat tekan benda uji dengan rumus berikut,

$$\sigma_m = \frac{P_{maks}}{A}$$

dimana,

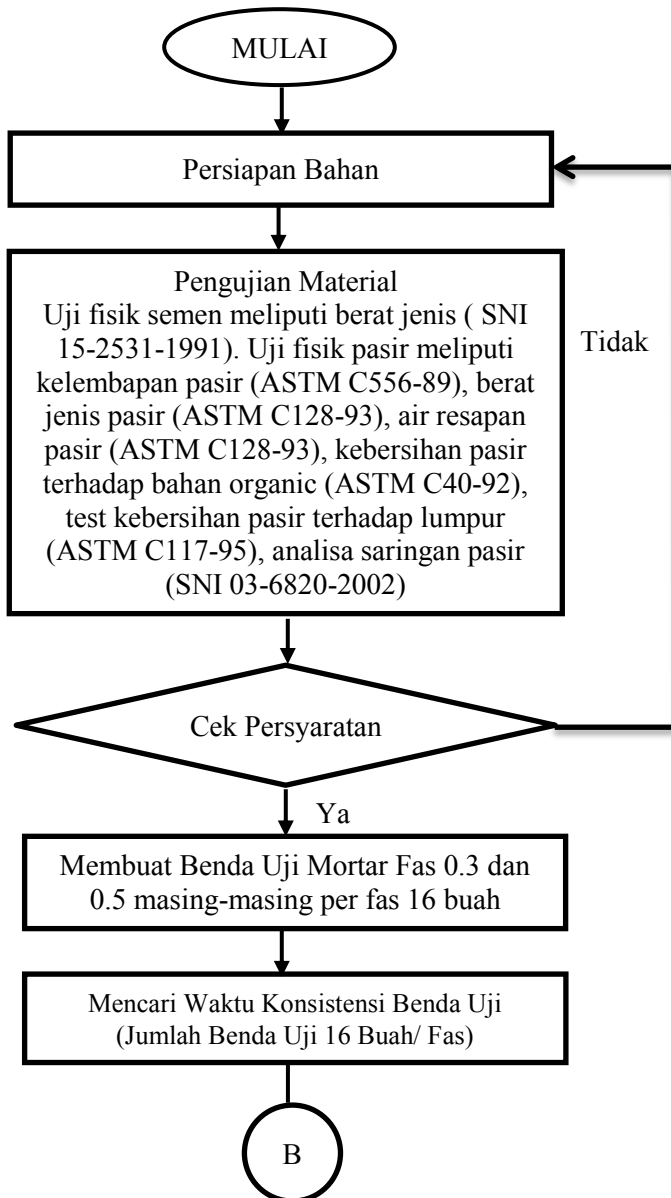
σ_m	= Kuat tekan mortar (MPa)
P_{maks}	= Gaya tekan maksimum (N)
A	= Luas penampang benda uji (mm ²)

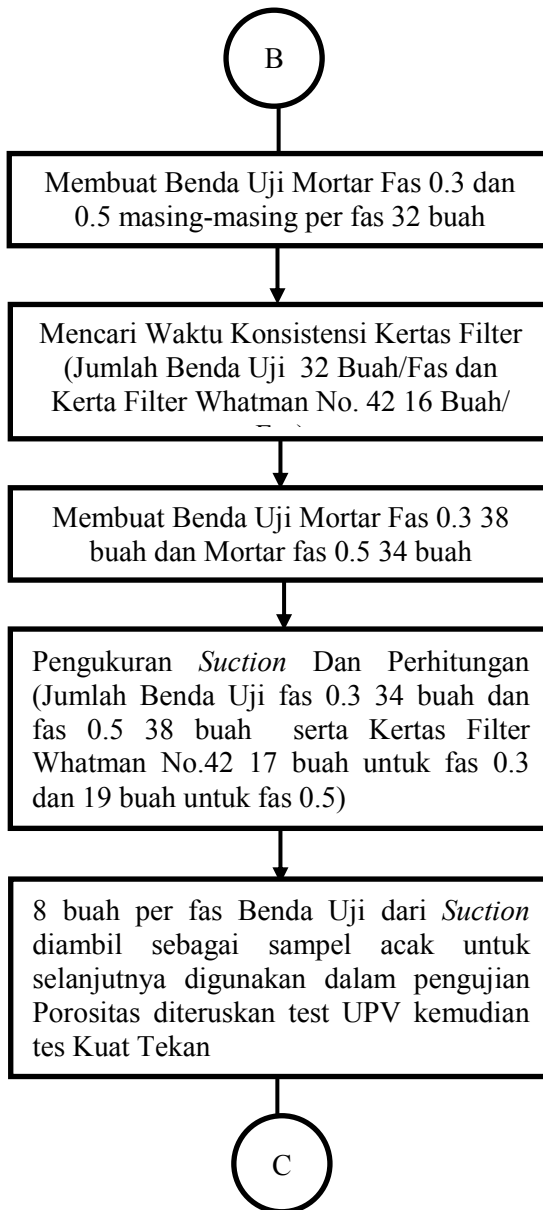
3.4 Analisa Data

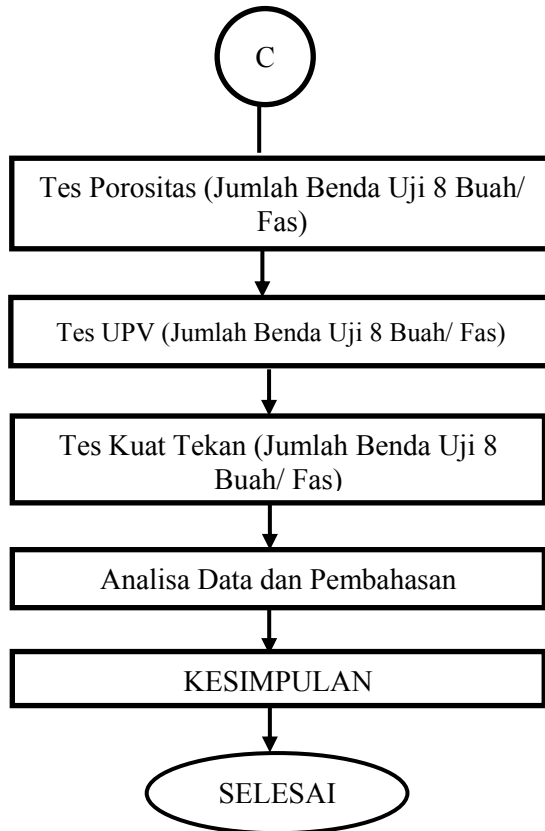
Dalam hal ini seluruh data yang telah terkumpul dari beberapa tes yang dilakukan analisa untuk mengetahui daya hisap atau *suction* yang terjadi pada mortar. Dalam analisa tegangan pori negatif pada mortar dilakukan dengan cara menghubungkan nilai W_c pada benda uji pengujian *suction* dengan pF melalui grafik kalibrasi kertas filter *whatman* no.42. Setelah itu dibandingkan nilai tegangan pori negatif pada mortar dengan nilai FAS 0,3 dan FAS 0,5.

Selain itu dilakukan analisa juga data hasil tes kuat tekan, porositas dan upv sehingga dapat diketahui kuat tekan benda uji, banyak rongga udara yang ada dan kepadatan dari benda uji tersebut. Kemudian hasil tes tersebut dibandingkan antara hasil tes yang dilakukan terhadap mortar dengan FAS 0,3 dan mortar dengan FAS 0,5.

Adapun alur penelitian dapat dilihat dalam *flowchart* penelitian dibawah ini,







Gambar 3.2 *Flow Chart* Penelitian

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

Hasil dan Pembahasan

4.1 Umum

Dalam bagian ini diuraikan mengenai hasil dari segala sesuatu yang telah dilakukan dari penelitian beserta analisisnya. berikut dengan analisisnya.

4.2 Hasil Pengujian

Hasil dari kegiatan penelitian ini berupa serangkaian pengujian *suction*, hasil pengujian porositas, hasil pengujian *UPV* dan hasil pengujian kuat tekan..

4.2.1 Konsistensi Benda Uji

Langkah pertama yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan mencari waktu konsistensi kadar air pada benda uji.

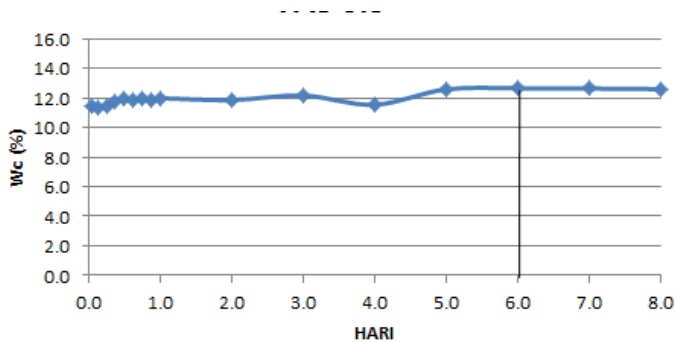
4.2.1.1 Benda Uji Fas 0.5

Benda uji pertama yang diteliti adalah mortar dengan fas 0.5 dengan kode benda uji A. Setelah dilakukan penelitian diperoleh data yang ditunjukkan dalam Tabel 4.1 sebagai berikut

Tabel 4.1 Konsistensi Benda Uji fas 0.5

KODE	WAKTU RENDAM	Wdry	Wssd	Wc
		(gram)	(gram)	(%)
A1	1 jam	256.40	285.80	11.466
A1	3 jam	256.40	285.60	11.388
A1	6 jam	256.40	285.70	11.427
A3	9 jam	287.70	321.60	11.783
A3	12 jam	287.70	322.00	11.922
A3	15 jam	287.70	321.70	11.818
A7	18 jam	267.90	299.90	11.945
A7	21 jam	267.90	299.70	11.870
A10	1 hari	256.40	287.10	11.973
A12	2 hari	256.40	286.80	11.856
A14	3 hari	256.40	287.60	12.168
A15	4 hari	256.40	286.00	11.544
A20	5 hari	287.70	323.90	12.583
A21	6 hari	287.70	324.10	12.652
A22	7 hari	256.40	288.80	12.637
A24	8 hari	256.40	288.70	12.598

Sumber : Hasil Penelitian



Grafik 4.1 Hubungan (W_c) Benda Uji Terhadap Kadar Air fas 0.5 dengan Waktu

Sumber : Hasil Penelitian

Berdasarkan Grafik 4.1 terlihat bahwa grafik awal naik turun dikarenakan hidrogenitas benda uji. Kadar air benda uji konsisten pada hari ke-6 dengan nilai sebesar 12.65%.

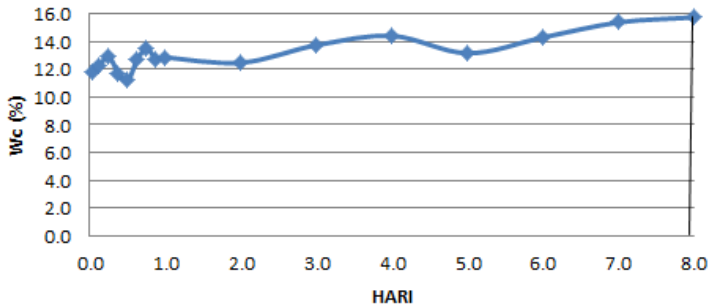
4.2.1.2 Benda Uji FAS 0.3

Benda uji yang kedua yang diteliti adalah mortar dengan fas 0.3 dengan kode benda uji B. Setelah dilakukan penelitian diperoleh data yang ditunjukkan dalam Tabel 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4.2Konsistensi Benda Uji fas 0.3

KODE	WAKTU RENDAM	Wdry	Wssd	Wc
		(gram)	(gram)	(%)
B18	1 jam	232.50	259.80	11.742
B17	3 jam	235.60	264.50	12.267
B12	6 jam	230.10	259.80	12.907
B24	9 jam	251.60	281.00	11.685
B24	12 jam	256.00	284.60	11.172
B29	15 jam	232.20	261.70	12.705
B28	18 jam	227.30	257.90	13.462
B11	21 jam	231.50	261.00	12.743
B22	1 hari	244.60	276.00	12.837
B27	2 hari	235.20	264.50	12.457
B13	3 hari	232.40	264.30	13.726
B23	4 hari	237.00	271.10	14.388
B25	5 hari	251.80	284.90	13.145
B15	6 hari	235.10	268.70	14.292
B8	7 hari	227.10	262.00	15.368
B9	8 hari	223.90	259.10	15.721

Sumber : Hasil Penelitian



Grafik 4.2 Hubungan (W_c) Benda Uji fas 0.3 dengan Waktu

Sumber : Hasil Penelitian

Berdasarkan Grafik 4.2 terlihat bahwa grafik awal naik turun dikarenakan hidrogenitas benda uji. Kadar air benda uji konsisten pada hari ke 8 dengan nilai sebesar 15.72%.

4.2.2 Waktu Konsistensi Kertas Filter

Setelah mengetahui konsistensi kadar air pada benda uji, langkah selanjutnya adalah mencari waktu konsistensi kadar air pad kertas filter.

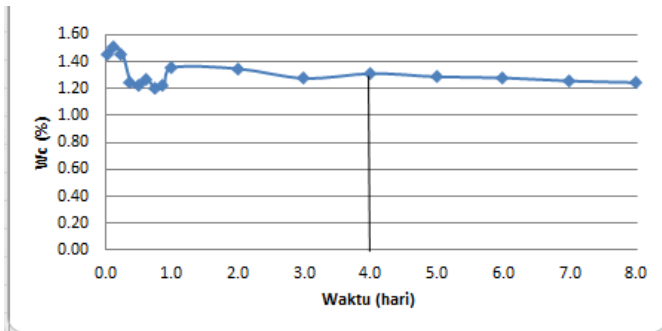
4.2.2.1 Benda Uji fas 0.5

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kapan kertas filter jenuh air dengan cara menjepit kertas filter dengan dua benda uji yang jenuh air. Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah benda uji mortar dengan fas 0.5 dengan kode benda uji D. Berikut hasil data yang didapat dari hasil penelitian :

Tabel 4.3 Konsistensi Kertas Filter dengan Benda Uji fas 0.5

No	KODE		LAMA RENDAM		Wdry	Wssd	Wc
	BENDA UJI	KERTAS FILTER	NILAI	SATUAN	(gram)	(gram)	(%)
1	D1-D2	17	1	jam	0.242	0.593	1.450
2	D3-D4	18	3	jam	0.244	0.612	1.508
3	D5-D6	19	6	jam	0.246	0.604	1.455
4	D7-D8	20	9	jam	0.250	0.561	1.244
5	D9-D10	21	12	jam	0.249	0.554	1.225
6	D11-D12	22	15	jam	0.250	0.566	1.264
7	D13-D14	23	18	jam	0.253	0.556	1.198
8	D15-D16	24	21	jam	0.247	0.549	1.223
9	D17-D18	25	1	hari	0.247	0.582	1.356
10	D19-D20	26	2	hari	0.245	0.575	1.347
11	D21-D22	27	3	hari	0.254	0.578	1.276
12	D23-D24	28	4	hari	0.247	0.571	1.312
13	D25-D26	29	5	hari	0.247	0.565	1.287
14	D27-D28	30	6	hari	0.247	0.563	1.279
15	D29-D30	31	7	hari	0.250	0.564	1.256
16	D31-D32	32	8	hari	0.253	0.568	1.245

Sumber : Hasil Penelitian



Grafik 4.3 Hubungan Kertas Filter dengan Benda Uji fas 0.5 dan Waktu

Sumber : Hasil Penelitian

Berdasarkan Grafik 4.3 terlihat bahwa grafik awal naik turun dikarenakan hidrogenitas benda uji, sedangkan waktu konsistensi kadar air pada kertas filter pada hari ke-4.

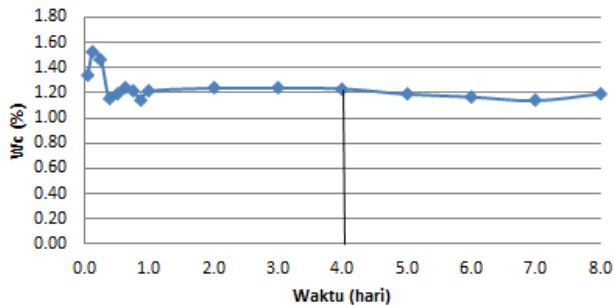
4.2.2.2 Benda Uji FAS 0.3

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kapan kertas filter jenuh air dengan cara menjepit kertas filter dengan dua benda uji yang jenuh air. Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah mortar dengan fas 0.3 dengan kode benda uji C. Berikut hasil data yang didapat dari hasil penelitian :

Tabel 4.4 Konsistensi Kertas Filter dengan Benda Uji fas 0.3

No	KODE		LAMA RENDAM		Wdry	Wssd	Wc
	BENDA UJI	KERTAS FILTER	NILAI	SATUAN	(gram)	(gram)	(%)
1	C1-C2	1	1	jam	0.238	0.556	1.336
2	C3-C4	2	3	jam	0.244	0.616	1.525
3	C5-C6	3	6	jam	0.248	0.611	1.464
4	C7-C8	4	9	jam	0.253	0.544	1.150
5	C9-C10	5	12	jam	0.243	0.532	1.189
6	C11-C12	6	15	jam	0.246	0.550	1.236
7	C13-C14	7	18	jam	0.248	0.549	1.214
8	C15-C16	8	21	jam	0.254	0.545	1.146
9	C17-C18	9	1	hari	0.248	0.549	1.214
10	C19-C20	10	2	hari	0.246	0.550	1.236
11	C21-C22	11	3	hari	0.244	0.546	1.238
12	C23-C33	12	4	hari	0.250	0.558	1.232
13	C25-C26	13	5	hari	0.239	0.523	1.188
14	C27-C28	14	6	hari	0.240	0.520	1.167
15	C29-C30	15	7	hari	0.248	0.530	1.137
16	C31-C32	16	8	hari	0.240	0.526	1.192

Sumber : Hasil Penelitian



Grafik 4.4 Hubungan Kertas Filter dengan Benda Uji fas 0.3 dan Waktu

Berdasarkan Grafik 4.4 terlihat bahwa grafik awal naik turun dikarenakan hidrogenetas benda uji, sedangkan waktu konsistensi kadar air pada kertas filter pada hari ke-4.

4.2.3 Tegangan Air Pori Negatif/ *Suction* (Hisapan)

Setelah mengetahui konsistensi benda uji dan kertas filter, langkah berikutnya adalah mengukur daya hisap atau *suction*. Pengukuran ini dilakukan dengan cara menginjeksikan air pada benda uji sampai kadar air jenuh benda uji. Kemudian kertas filter diapit dengan dua benda uji dan lama waktu apit sesuai dengan konsistensi kadar air kertas filter.

4.2.3.1 Benda Uji fas 0.5

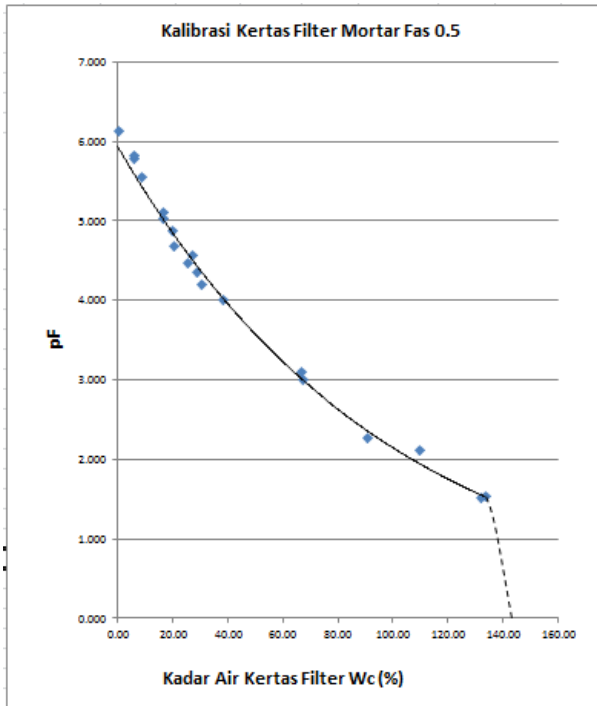
Berdasarkan kegiatan sebelumnya, maka air diinjeksikan pada benda uji sampai 12% dari berat benda uji dan lama pengapitan kertas filter sampai 4 hari. Berikut hasil pengukuran *suction* pada benda uji mortar fas 0.5.

Tabel 4.5 Hasil Pengukuran Suction pada Benda Uji fas 0.5

Nomor	KODE		Wdry Benda	W/w			Kertas Filter			pF	section
	BEND A UJI	KERTA S FILTER		% dari Wdry Benda Uji	(gram)	(ml)	Wdry	Wdry+Wt	Wc		kPa
			(gram)				(gram)	(%)			
1	E31	31	249	0.1%	0.249	0.249	0.253	0.254	0.395	6.400	251188.64
	E32		253		0.253	0.253					
2	E33	32	248	0.25%	0.620	0.620	0.242	0.256	5.785	6.015	103514.22
	E34		240		0.600	0.600					
3	E35	33	243	0.50%	1.215	1.215	0.239	0.259	8.368	5.620	41686.94
	E36		247		1.235	1.235					
4	E37	34	242	0.75%	1.815	1.815	0.238	0.252	5.882	5.800	63095.73
	E38		234		1.755	1.755					
5	E1	12	275	1%	2.750	2.750	0.252	0.293	16.270	5.050	11220.185
	E2		277		2.770	2.770					
6	E3	13	268	2%	5.360	5.360	0.253	0.294	16.206	5.100	12589.254
	E4		256		5.120	5.120					
7	E5	14	260	3%	7.800	7.800	0.248	0.298	20.16	4.600	3381.072
	E6		260		7.800	7.800					
8	E7	15	273	4%	10.920	10.920	0.252	0.301	19.44	4.650	4466.836
	E8		275		11.000	11.000					

9	E9	16	264	5%	13.200	13.200	0.261	0.326	24.30	4.420	2630.268
	E10		261		13.050	13.050					
10	E11	18	270	6%	16.200	16.200	0.262	0.332	26.72	4.400	2511.886
	E12		265		15.900	15.900					
11	E13	17	269	7%	18.830	18.830	0.254	0.326	28.35	4.300	1995.262
	E14		270		18.900	18.900					
12	E15	19	270	8%	21.600	21.600	0.258	0.336	30.23	4.120	1318.257
	E16		277		22.160	22.160					
13	E17	20	265	9%	23.850	23.850	0.253	0.349	37.94	3.970	933.254
	E18		264		23.760	23.760					
14	E19	21	265	10%	26.500	26.500	0.260	0.434	66.92	2.900	79.433
	E20		269		26.900	26.900					
15	E21	22	284	11%	31.240	31.240	0.251	0.417	66.14	2.960	31.201
	E22		264		29.040	29.040					
16	E23	23	258	12%	30.960	30.960	0.259	0.604	133.20	1.600	3.981
	E24		240		28.800	28.800					
17	E25	24	254	13%	33.020	33.020	0.261	0.604	131.42	1.630	4.266
	E26		256		33.280	33.280					

Sumber : Hasil Penelitian



Grafik 4.5 Kalibrasi Kertas Filter *Whatman* no 42 pada Mortar fas 0.5

Berdasarkan grafik 4.5 kalibrasi kertas filter *whatman* no.42 pada benda uji mortar dengan fas 0.5 bahwa semakin besar kadar air semakin kecil nilai suctionnya, begitu pula sebaliknya. Dan angka pF tertinggi 6.4 dan angka pF terkecil 1.63.

4.2.3.2 Benda Uji FAS 0.3

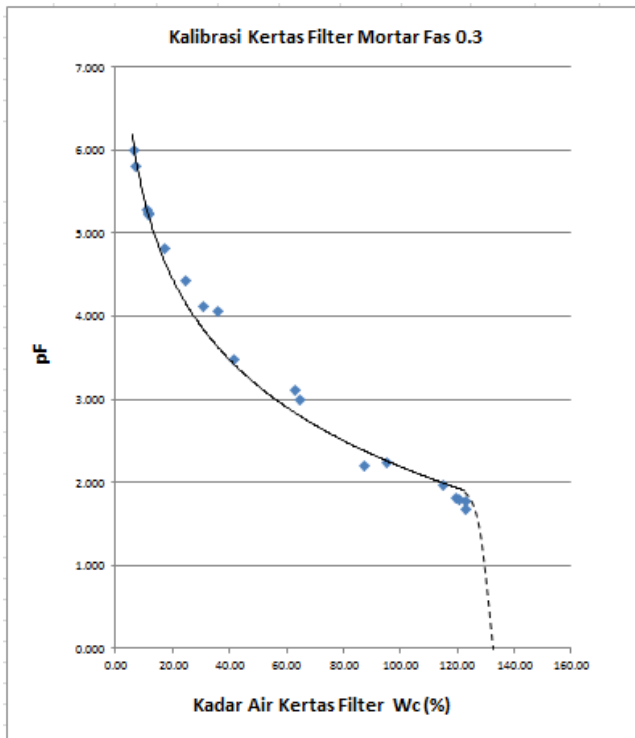
Berdasarkan kegiatan sebelumnya, maka air diinjeksikan pada benda uji sampai 12% dari berat benda uji dan lama pengapitan kertas filter sampai 4 hari. Berikut hasil pengukuran *suction* pada benda uji mortar fas 0.3.

Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Suction pada Benda Uji fas 0.3

Nomor	KODE		Wdry Benda uji	Ww			Kertas Filter			pF	suction
	BENDA UJI	KERTAS FILTER	(gram)	% dari Wdry Benda Uji	(gram)	(ml)	Wdry	Wdry+Ww	Wc		kPa
							(gram)	(gram)	(%)		
4	F31	30	279	0.1%	0.279	0.279	0.257	0.272	5.84	6.000	100000.00
	F32		290		0.290	0.290					
3	F33	29	265	0.25%	0.663	0.663	0.249	0.275	10.44	5.270	18620.87
	F34		267		0.668	0.668					
2	F35	28	231	0.50%	1.155	1.155	0.251	0.279	11.16	5.240	17378.01
	F36		250		1.250	1.250					
1	F37	27	254	0.75%	1.905	1.905	0.250	0.266	6.40	5.800	63095.73
	F38		237		1.778	1.778					
5	F1	1	242	1%	2.420	2.420	0.249	0.277	11.24	5.220	16595.87
	F2		251		2.510	2.510					
6	F3	2	244	2%	4.880	4.880	0.249	0.291	16.87	4.820	6606.93
	F4		266		5.320	5.320					
7	F5	3	266	3%	7.980	7.980	0.248	0.323	30.24	4.110	1288.25
	F6		244		7.320	7.320					
8	F7	4	239	4%	9.560	9.560	0.255	0.316	23.92	4.420	2630.27
	F8		260		10.400	10.400					

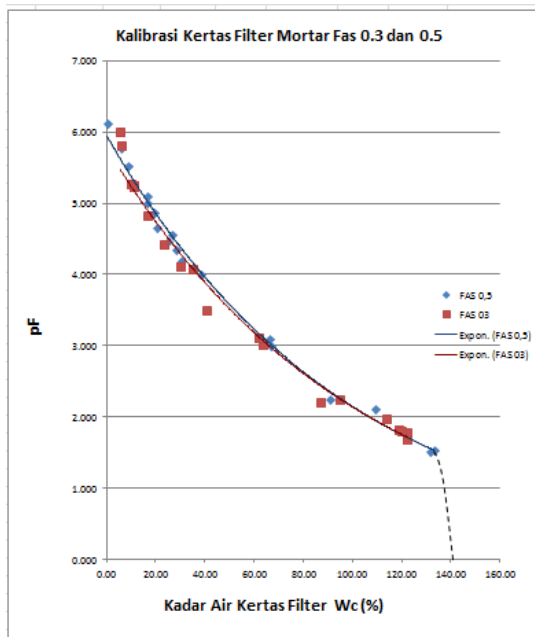
8	F7	4	239	4%	9.560	9.560	0.255	0.316	23.92	4.420	2630.27
	F8		260		10.400	10.400					
9	F9	5	246	5%	12.300	12.300	0.251	0.340	35.46	4.060	1148.15
	F10		247		12.350	12.350					
10	F11	6	238	6%	14.280	14.280	0.249	0.351	40.96	3.480	302.00
	F12		249		14.940	14.940					
11	F13	7	247	7%	17.290	17.290	0.248	0.407	64.11	3.000	100.00
	F14		243		17.010	17.010					
12	F15	8	219	8%	17.520	17.520	0.252	0.409	62.30	3.100	125.89
	F16		253		20.240	20.240					
13	F17	9	248	9%	22.320	22.320	0.257	0.572	122.57	1.680	4.79
	F18		245		22.050	22.050					
14	F19	10	267	10%	26.700	26.700	0.256	0.479	87.11	2.200	15.85
	F20		248		24.800	24.800					
15	F21	11	239	11%	26.290	26.290	0.251	0.538	114.34	1.960	9.12
	F22		250		27.500	27.500					
16	F23	35	232	12%	27.840	27.840	0.248	0.544	119.35	1.810	6.46
	F24		250		30.000	30.000					
17	F25	36	249	13%	32.370	32.370	0.252	0.561	122.62	1.780	6.03
	F26		234		30.420	30.420					
18	F27	37	250	14%	35.000	35.000	0.257	0.566	120.23	1.800	6.31
	F28		241		33.740	33.740					
19	F29	38	234	15%	35.100	35.100	0.256	0.499	94.92	2.240	17.38
	F30		237		35.550	35.550					

Sumber : Hasil Penelitian



Grafik 4.6 Kalibrasi Kertas Filter Whatman no 42 pada Mortar fas 0.3

Berdasarkan grafik 4.6 kalibrasi kertas filter *whatman* no.42 pada benda uji mortar dengan fas 0.3 bahwa semakin besar kadar air semakin kecil nilai suctionnya, begitu pula sebaliknya. Dan angka pF tertinggi 6.0 dan angka pF terkecil 2.24.



Grafik 4.7 Kalibrasi Kertas Filter Whatman no.42 pada Mortar Fas 0.3 dan 0.5

Berdasarkan grafik 4.7 kalibrasi kertas filter *whatman* no.42 pada benda uji mortar dengan fas 0.5 dan fas 0.3 terlihat bahwa nilai suction pada benda uji mortar fas 0.5 lebih tinggi dari benda uji mortar fas 0.3.

4.2.4 Hasil Pengujian Porositas

Pengujian porositas beton dilakukan untuk membandingkan hasil porositas dengan pembacaan UPV dan test kuat tekan. Pengujian porositas ini dilakukan terhadap delapan benda uji berupa kubus berdimensi 5 x 5 x 5 cm. pengujian ini mengetahui besarnya porositas mortar.

Hasil pengujian porositas mortar rata-rata dari tiap benda uji pada masing-masing fas dapat dilihat pada tabel 4.7 dan tabel 4.8.

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Porositas pada Mortar fas 0.5

KOD E	W2	W3	W4	NILAI POROSITAS
	(gram)	(gram)	(gram)	(%)
(1)	(4)	(5)	(6)	$(7) = \{[(4)-(6)]/[(4)-(5)]\} \times 100$
E1	292	162	277	12
E2	293	165	279	11
E9	286	162	271	12
E10	285	156	270	12
E11	288	158	272	13
E12	288	158	273	12
E13	283	160	266	14
E14	282	158	260	17
RATA-RATA				12

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Porositas pada Mortar fas 0.3

KODE	W2	W3	W4	NILAI POROSITAS
	(gram)	(gram)	(gram)	(%)
(1)	(4)	(5)	(6)	$(7) = \{[(4)-(6)]/[(4)-(5)]\} \times 100$
F1	272	144	239	26
F2	273	147	243	23
F9	271	145	239	25
F10	271	146	241	24
F11	267	144	235	26
F12	273	146	242	24
F13	271	143	239	25
F14	285	152	251	26
RATA-RATA				25

Sumber : Hasil Penelitian

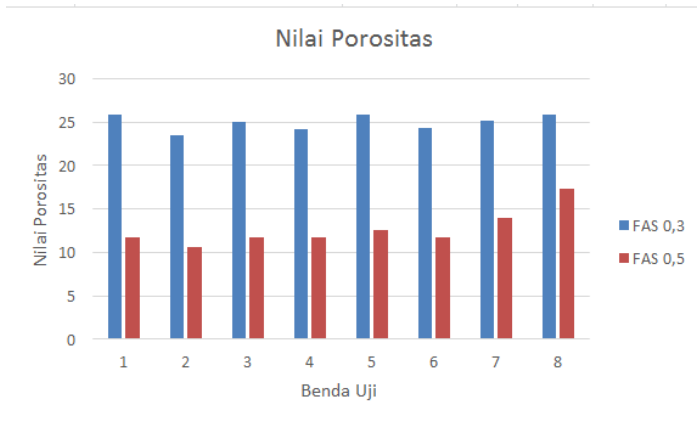


Diagram 4. 1 Nilai Porositas

Dari data diagram 4.1 diatas didapat bahwa nilai porositas pada benda uji mortar dengan fas 0.5 lebih kecil dari pada nilai porositas pada benda uji mortar dengan fas 0.3. Maka dapat disimpulkan bahwa semakin padat benda ujinya nilai porositas semakin kecil, begitu pula jika semakin banyak pori-pori semakin besar nilai porositasnya.

4.2.5 Hasil Pengujian *UPV*

Setelah dilakukan pengujian *UPV* pada delapan sampel benda uji. Pengujian cepat rambat gelombang pada benda uji dilakukan dengan menggunakan metode direct transmission. Selanjutnya didapat data sebagai berikut.

Tabel 4.9 Hasil Pembacaan UPV pada Mortar fas 0.5

No.	KODE BENDA UJI	L	T	V		
				Hitungan Manual		Bacaan Alat
		(m)	(μ s)	(m/S)	(km/s)	(km/s)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=(3)/(4)	(6)=(5)/1000	(7)
1	E1	0.05	15.0	3333.33	3.33	3.33
2	E2	0.05	15.0	3333.33	3.33	3.33
3	E11	0.05	15.3	3267.97	3.27	3.27
4	E12	0.05	15.2	3289.47	3.29	3.29
5	E13	0.05	15.7	3184.71	3.18	3.19
6	E14	0.05	15.0	3333.33	3.33	3.33
7	E29	0.05	15.7	3184.71	3.18	3.19
8	E30	0.05	15.3	3267.97	3.27	3.27
RATA-RATA				3206.07	3.21	3.21

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 4.10 Hasil Pembacaan UPV pada Mortar fas 0.3

No.	KODE BENDA UJI	L	T	V		
				Hitungan Manual		Bacaan Alat
		(m)	(μ s)	(m/S)	(km/s)	(Km/s)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=(3)/(4)	(6)=(5)/1000	(7)
1	F1	0.05	20.9	2392.34	2.39	2.39
2	F2	0.05	19.1	2617.80	2.62	2.62
3	F11	0.05	20.4	2450.98	2.45	2.45
4	F12	0.05	19.7	2538.07	2.54	2.54
5	F13	0.05	20.4	2450.98	2.45	2.45
6	F14	0.05	21.0	2380.95	2.38	2.38
7	F29	0.05	21.0	2380.95	2.38	2.38
8	F30	0.05	20.5	2439.02	2.44	2.44
RATA-RATA				2574.15	2.57	2.44

Sumber : Hasil Penelitian

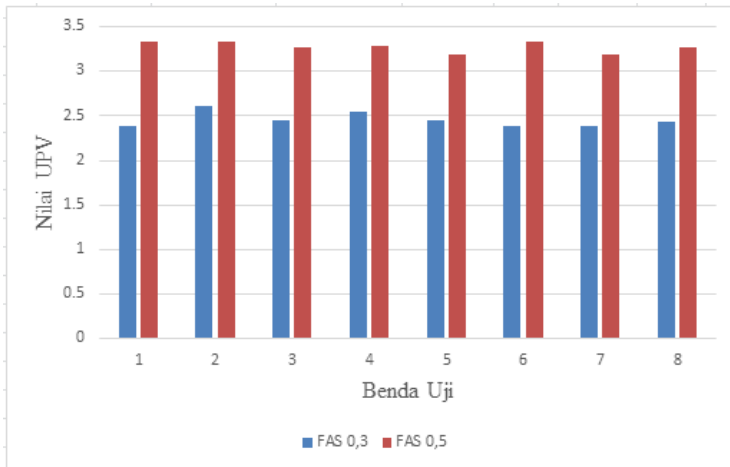


Diagram 4. 2 Pembacaan UPV pada Setiap Fas

Dari data 4.2 diatas dapat dilihat bahwa hasil kecepatan UPV pada benda uji mortar dengan fas 0.5 lebih besar dari pada benda uji mortar dengan fas 0.3. Maka dapat disimpulkan bahwa besarnya nilai porositas berpengaruh pada pembacaan UPV. Semakin besar porositas maka nilai UPV rendah, sedangkan semakin kecil nilai porositas maka nilai UPV tinggi. Hal ini terjadi karena perambatan gelombang elektronik melalui struktur mortar didalamnya.

4.2.6 Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pengujian terakhir dari penelitian ini adalah kuat tekan dengan menggunakan benda uji yang sama dengan porositas dan UPV untuk mempermudah mengkorelasikan hasil seluruh pengujian. Berikut hasil rata-rata kuat tekan untuk masing-masing fas dapat dilihat pada tabel 4.11 dan 4.12

Tabel 4.11 Hasil Pengujian Kuat Tekan pada Mortar fas 0.5

No.	KODE BENDA UJI	P_{maks}	A	σ_m
		(TON)	(cm ²)	(MPa)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5) = (3)/(4)
1	E1	8.3	25	33.20
2	E2	9.2	25	36.80
3	E9	8.9	25	35.60
4	E10	8.1	25	32.40
5	E11	7.6	25	30.40
6	E12	7.8	25	31.20
7	E13	7.8	25	31.20
8	E14	7.5	25	30.00
RATA-RATA				32.60

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 4.12 Hasil Pengujian Kuat Tekan pada Mortar fas 0.3

No.	KODE BENDA UJI	P_{maks}	A	σ_m
		(TON)	(cm ²)	(MPa)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5) = (3)/(4)
1	F1	5.4	25	21.60
2	F2	5.0	25	20.00
3	F9	4.2	25	16.80
4	F10	4.0	25	16.00
5	F11	3.8	25	15.20
6	F12	4.2	25	16.80
7	F13	3.4	25	13.60
8	F14	4.0	25	16.00
RATA-RATA				17.00

Sumber : Hasil Penelitian

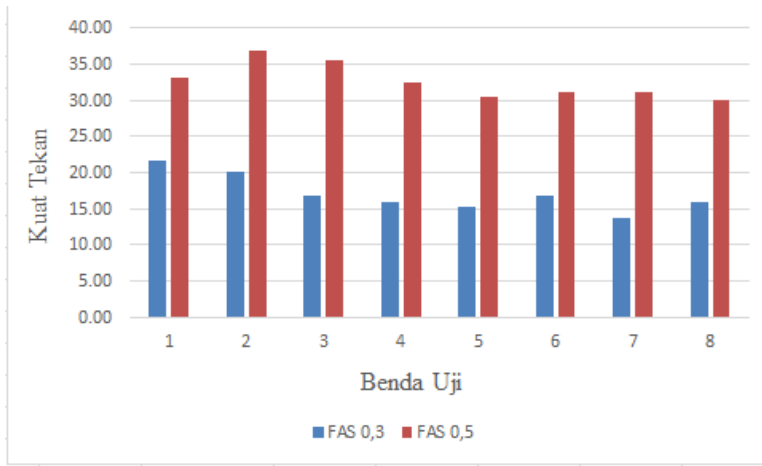


Diagram 4. 3 Hasil Kuat Tekan pada Setiap Fas

Dari data diagram 4.3 diatas dapat dilihat bahwa kuat tekan mortar fas 0.5 lebih tinggi dari mortar fas 0.3.

4.2.7 Korelasi Hubungan Antara Suction, Porositas, UPV, dan Kuat Tekan

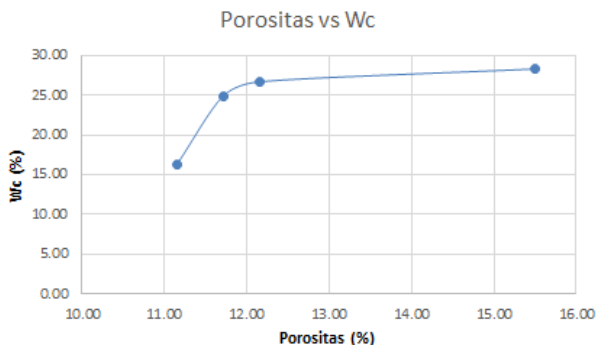
Setelah melakukan serangkaian pengujian suction, porositas, upv dan kuat tekan, kemudian data tersebut diamati bagaimana hubungan korelasi hasil pengujian.

4.2.7.1 Korelasi Hubungan Mortar fas 0.5

Tabel 4.13 Data Rangkaian Pengujian pada Mortar fas 0.5

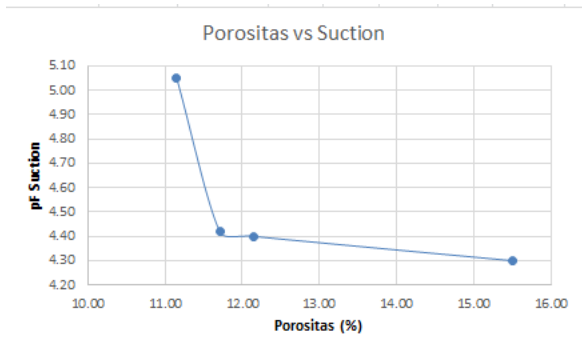
no.	Kode Benda Uji	Presentase Kadar Air	Pengujian						
			Suction	Porositas (%)		UPV (Km/s)		Kuat Tekan (Mpa)	
1	E1	1%	5.05	12	11.15	3.33	3.33	33.20	35.00
2	E2			11		3.33		36.80	
3	E9	5%	4.42	12	11.71	3.27	3.28	35.60	34.00
4	E10			12		3.29		32.40	
5	E11	6%	4.40	13	12.15	3.19	3.26	30.40	30.80
6	E12			12		3.33		31.20	
7	E13	7%	4.30	14	15.50	3.19	3.23	31.20	30.60
8	E14			17		3.27		30.00	
Rata-Rata			4.54	13		3.28		32.60	

Sumber : Hasil Penelitian



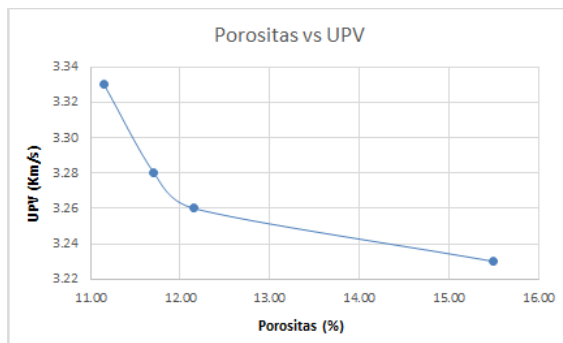
Grafik 4.8 Hubungan Kadar Pori dengan Kadar Air Mortar fas 0.5

Berdasarkan grafik 4.8 diatas semakin besar kadar air pada benda uji, semakin besar kadar porinya. Hal ini dikarenakan air menempati ruang pori pada benda uji.



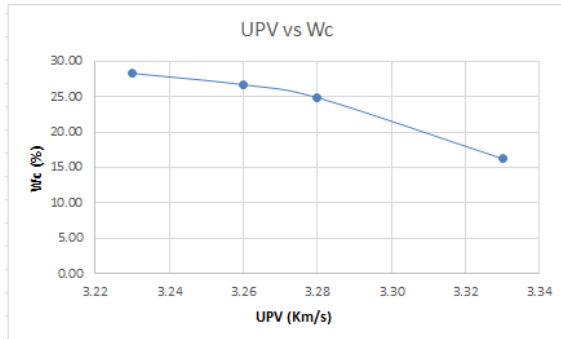
Grafik 4.9 Hubungan Kadar Pori dengan pF Suction Mortar fas 0.5

Berdasarkan grafik 4.9 semakin besar nilai *suction*, kadar pori semakin rendah. Hal ini dikarenakan semakin kecil jari-jari ruang pori semakin tinggi kenaikan airnya.



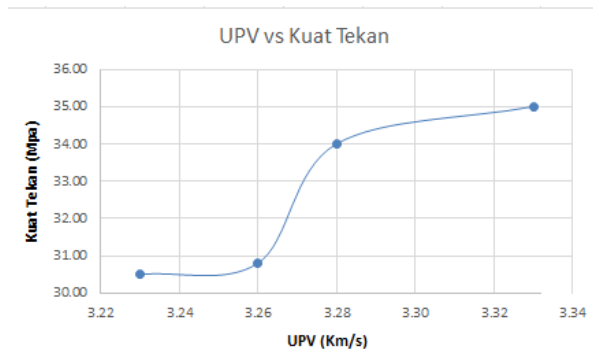
Grafik 4.10 Hubungan Kadar Pori dengan Cepat Rambat Gelombang pada Mortar fas 0.5

Berdasarkan grafik 4.10 porositas semakin tinggi, cepat rambat UPV semakin rendah, begitu pula sebaliknya porositas rendah cepat rambat UPV tinggi. Dikarenakan jalannya perambatan UPV melalui kepadatan benda uji, pori-pori membuat perambatan semakin lama.



Grafik 4.11 Hubungan Cepat Rambat dengan Kadar Air Mortar fas 0.5

Berdasarkan grafik 4.11 semakin tinggi kadar air pada benda uji semakin rendah cepat rambatan UPV. Hal ini dikarenakan besarnya kadar air menunjukkan banyaknya ruang pori. Sedangkan perambatan UPV melalui material.



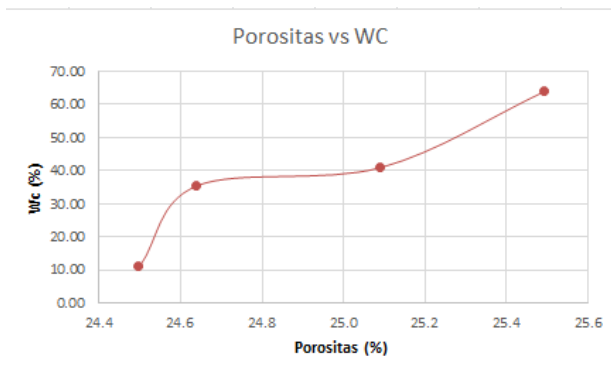
Grafik 4.12 Hubungan Cepat Rambat Gelombang dengan Kuat Tekan Mortar fas 0.5

Berdasarkan grafik 4.12 cepat rambatnya gelombang UPV menunjukkan kepadatan suatu benda uji, sedangkan benda uji semakin padat kuat tekannya semakin tinggi.

4.2.7.2 Korelasi hubungan Mortar fas 0.3

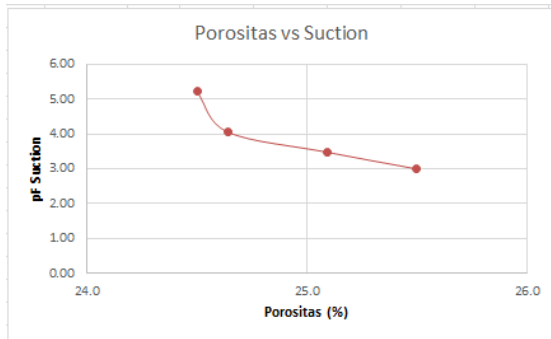
Tabel 4.14 Data Rangkaian Pengujian pada Mortar fas 0.3

no.	Kode Benda Uji	Presentase Kadar Air	Pengujian						
			Suction	Porositas (%)		UPV (Km/s)		Kuat Tekan (Mpa)	
1	F1	1%	5.22	26	24.5	2.39	2.51	21.60	20.80
2	F2			23		2.62		20.00	
3	F9	5%	4.06	25	24.6	2.45	2.50	16.80	16.40
4	F10			24		2.54		16.00	
5	F11	6%	3.48	26	25.1	2.45	2.42	15.20	16.00
6	F12			24		2.38		16.80	
7	F13	7%	3.00	25	25.5	2.38	2.41	13.60	14.80
8	F14			26		2.44		16.00	
Rata-Rata			3.94	25		2.46		17.00	



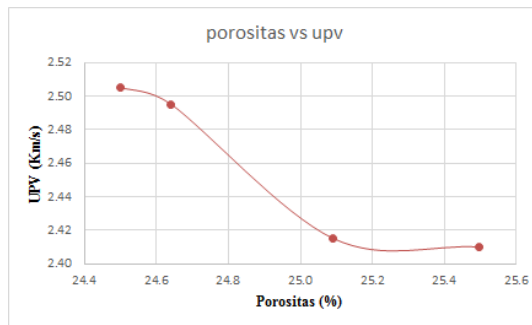
Grafik 4.13 Hubungan Kadar Pori dengan Kadar Air Mortar fas 0.3

Berdasarkan grafik 4.13 semakin besar kadar air pada benda uji, semakin besar kadar porinya. Hal ini dikarenakan air menempati ruang pori pada benda uji.



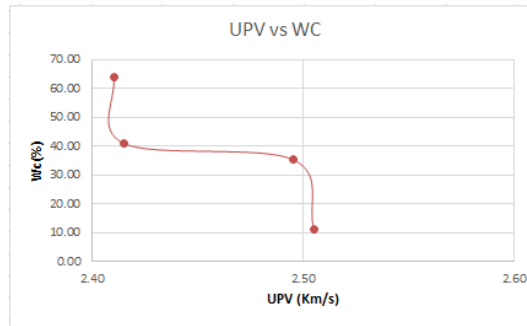
Grafik 4.14 Hubungan Kadar Pori dengan pF *Suction* Mortar fas 0.3

Berdasarkan grafik 4.14 semakin besar nilai *suction*, kadar pori semakin rendah. Hal ini dikarenakan semakin kecil jari-jari ruang pori semakin tinggi kenaikan airnya.



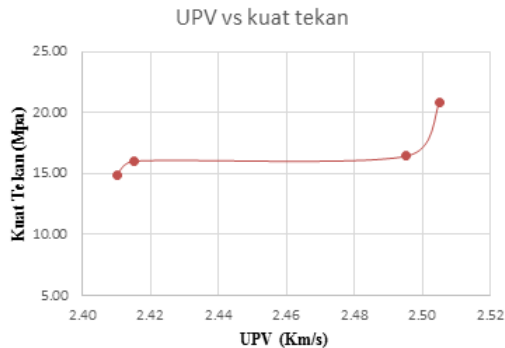
Grafik 4.15 Hubungan Kadar Porositas dan Cepat Rambat Gelombang pada Mortar fas 0.3

Berdasarkan grafik 4.15 porositas semakin tinggi, cepat rambat UPV semakin rendah, begitu pula sebaliknya porositas rendah cepat rambat UPV tinggi. Dikarenakan jalannya perambatan UPV melalui kepadatan benda uji, pori-pori membuat perambatan semakin lama.



Grafik 4.16 Hubungan Cepat Rambat Gelombang dengan Kadar Air Mortar fas 0.3

Berdasarkan grafik 4.16 semakin tinggi kadar air pada benda uji semakin rendah cepat rambatan UPV. Hal ini dikarenakan besarnya kadar air menunjukkan banyaknya ruang pori. Sedangkan perambatan UPV melalui material.



Grafik 4.17 Hubungan Cepat Rambat Gelombang dengan Kuat Tekan pada Mortar fas 0.3

Berdasarkan grafik 4.17 cepat rambatnya gelombang UPV menunjukkan kepadatan suatu benda uji, sedangkan benda uji semakin padat kuat tekannya semakin tinggi.

4.3 Evaluasi

Proses pencampuran pembuatan benda uji pada penelitian ini dilakukan secara manual, sehingga campuran benda uji tidak rata antar pasir, semen dan air. Kemudian pengerjaan pencampuran dilakukan pada siang hari dilur ruangan sehingga air yang menjadi dalam adonan benda uji cepat. Hal ini mengakibatkan mutu benda uji dengan FAS 0.3 lebih rendah dari pada mutu benda uji dengan FAS 0.5.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran

Dokumentasi selama Pengerjaan Penelitian Tugas Akhir



Gambar 1. Pasir dan Semen untuk Pembuatan Mortar



Gambar 2. Benda Uji Mortar



Gambar 3. Contoh Benda Uji Mortar



Gambar 4. Penimbangan Benda Uji



Gambar 5. Pembungkusan Benda Uji dengan Plastik untuk Pengujian Suction



Gambar 6. Penginjesian Air pada Benda Uji untuk Pengujian suction



Gambar 7. Alat dan Bahan Injeksi Benda Uji



Gambar 8. Pemasangan Kertas Filter pada Benda Uji



Gambar 9. Pengukuran Berat Kertas Filter



Gambar 10. Pemvakuman Benda Uji Tanpa Air



Gambar 11. Pemvakuman Benda Uji dengan Air



Gambar 12. Pembacaan Cepat Rambat Gelombang dengan Alat UPV



Gambar 13. Test Kuat Tekan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengamatan serta analisa yang telah diuraikan dalam bab sebelumnya, dapat disimpulkan beberapa hal antara lain sebagai berikut :

1. Daya hisap atau *suction* akan terjadi pada suatu material selama ada suatu fase cair dan ruang berpori, sedangkan beton merupakan material berpori dan bergantung pada air dalam pembuatannya. Peristiwa *suction* pada mortar dibuktikan dengan menggunakan kertas filter whatman no.42. Nilai *suction* pada mortar fas 0.5 dengan skala pF 6.4 – 1.63 (251188.64 Kpa – 4.266 Kpa), sedangkan pada mortar fas 0.3 dengan skala pF 6.0 – 2.24 (100000 Kpa – 17.38 Kpa).
2. Pada benda uji dengan FAS 0.3 rata-rata hasil pengujian porositas sebesar 25 %, pengujian *UPV* sebesar 2,44 km/s dan pengujian kuat tekan sebesar 17 MPa. Pada benda uji dengan FAS 0.5 rata-rata hasil pengujian porositas sebesar 12 %, pengujian *UPV* sebesar 3,21 km/s dan pengujian kuat tekan sebesar 32,6 MPa. Korelasi hasil pengujian porositas, pengujian *UPV* dan pengujian kuat tekan dengan hasil pengujian *suction* adalah semakin tinggi nilai *suction* maka porositas semakin kecil, sedangkan hasil pengujian *UPV* dan pengujian kuat tekan semakin besar. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi kuat tekan dan kepadatan mortar, maka pori-pori udara dalam mortar semakin sedikit. Sehingga nilai *suction* semakin besar

5.2 Saran

1. Dalam penelitian ini diketahui bahwa mutu FAS 0.3 lebih rendah dari pada mutu FAS 0.5. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh proses pencampuran material benda uji yang dilakukan secara manual yang menyebabkan campuran material benda uji tidak merata. Maka dari itu, disarankan dalam penelitian berikutnya menggunakan mixer.
2. Perlu dilakukan penelitian kembali dengan nilai FAS yang lebih bervariasi dan menggunakan benda uji berupa beton.

Daftar Pustaka

- ASTM C 125 - 00a. *Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates*. West Conshohocken: ASTM International, t.thn.
- ASTM C 597 – 02. *Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete*. West Conshohocken: ASTM International, t.thn.
- Francis, Weston Sears, dan W. Zemansky Mark. *Fisika untuk Universitas I Mekanika, Panas dan Bunyi*.
Dialihbahasakan oleh Soedarjana dan Achmad Amir.
Bandung: Binacipta, 1994.
- Indarto. *Comportement des sols soumis a une pression interstitielle negative applcation aux silos*. Paris: These de Doctorat, Ecole Centrale, 1991.
- . *Kelakuan Tanah Ekspansif serta Akibatnya pada Bangunan dan Jalan Sederhana*. Surabaya: ITS Pers, 2012.
- J, Krahn, dan Fredlund D. G. —On σ tal, Matric and Osmotic Suction.” *Soil Science Vol. 114, No. 5*, 1972: 339-348.
- Mochamad, Jihad. *Pengukuran Sucton pada Beton dengan Menggunakan Kertass Filter Whatman No.42 di Laboratorium*. Surbaya: Tugas Akhir Sarjana, ITS, 2014.
- Paul, Nugraha, dan Antoni. *Teknologi Beton dari Material, Pembuatan ke Beton Kinerja Tinggi*. Yogyakarta: Penerbit ANDI, 2007.
- RILEM CPC 11.3. —Absorption of water by concrete by immersions under vacuum.” *3rd Editions; Materials and Structure Vol 17 No. 101*, 1984: 36-37.
- Robert, D. Holtz, dan D. Kovacs William. *An Introduction to Geotechnical Engineering*. New Jersey: Prentice-Hall Inc, 1981.
- SNI – 03-6825-2002. *Metode pengujian kekuatan tekan mortar semen portland untuk pekerjaan sipil*. Badan Standardisasi Nasional, t.thn.

- SNI 03-6820-2002. *Spesifikasi agregat halus untuk pekerjaan adukan dan plesteran dengan bahan dasar semen*. Badan Standardisasi Nasional, t.thn.
- SNI 15-2049-2004. *Semen portland*. Badan Standardisasi Nasional, t.thn.
- Tri, Mulyono. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Penerbit ANDI, 2014.



ELSA NURRI ASZUZI

Penulis dilahirkan di Sumenep, 17 Oktober 1993. Merupakan anak terakhir dari empat bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Pajagalan 1 Sumenep, SMPN 1 Sumenep, SMAN 1 Sumenep. Setelah lulus SMAN 1 Sumenep, pada tahun 2013 penulis mengikuti tes seleksi masuk ITS. Penulis terdaftar menjadi mahasiswa

jurusan Diploma III Teknik Sipil FTSP-ITS dengan NRP 3113030074 tahun 2013. Penulis mengambil konsentrasi Bangunan Transportasi. Penulis aktif dalam organisasi kemahasiswaan kampus menjadi Hakim Mahasiswa di Mahkamah Mahasiswa ITS 2015 dan TIM Pengkaji Mubes IV. Penulis pernah berpartisipasi dalam kegiatan program kreativitas mahasiswa dalam PKM-GT dengan judul “NEOJAVA Diving Train System, Sistem Kereta Cepat yang Menghubungkan Jawa dan Kalimantan sebagai Sarana Pemerataan Pembangunan Ekonomi”.